



Università degli Studi di Torino
Facoltà di Farmacia

CEREALI, PASTA e PRODOTTI da FORNO - I

Corso di Chimica Bromatologica
Corso di Chimica degli Alimenti



U1

Principali Cereali coltivati (frumento, riso, mais, orzo, avena, segale, sorgo e miglio). Caratteristiche ecologiche (cereali microtermi e macrotermi) dei principali cereali. Frumento: cenni botanici, distribuzione di macro e micronutrienti.

U2

Composizione chimica del Frumento:

Frazione proteica (albumine, globuline, gliadine, glutenine), classificazione chimica di Osborne e Shewry, caratteristiche costitutive e tecnologiche, il glutine, forza delle farine di frumento.

U3

Frazione glicidica (amido, pentosani e zuccheri liberi), caratteristiche chimiche di amilosio ed amilopectina, gelatinizzazione dell'amido, idrolisi enzimatica ed industriale.

Lipidi, minerali, vitamine;

U4

Cenni di tecnologia e legislazione:

la molitura e gli sfarinati, farine e semole;
pasta, pane e prodotti da forno;

U5

Riso





frumento



segale



orzo



avena



miglio

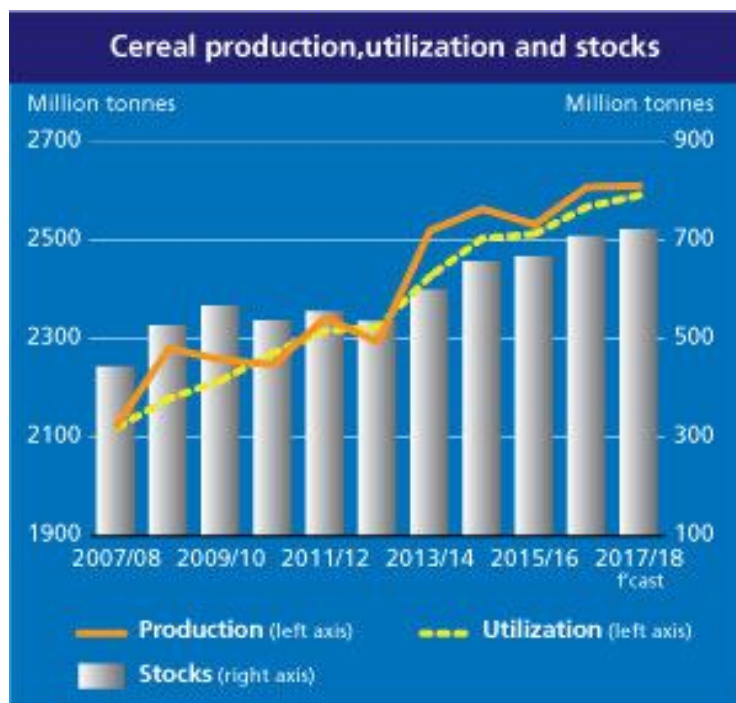


granoturco

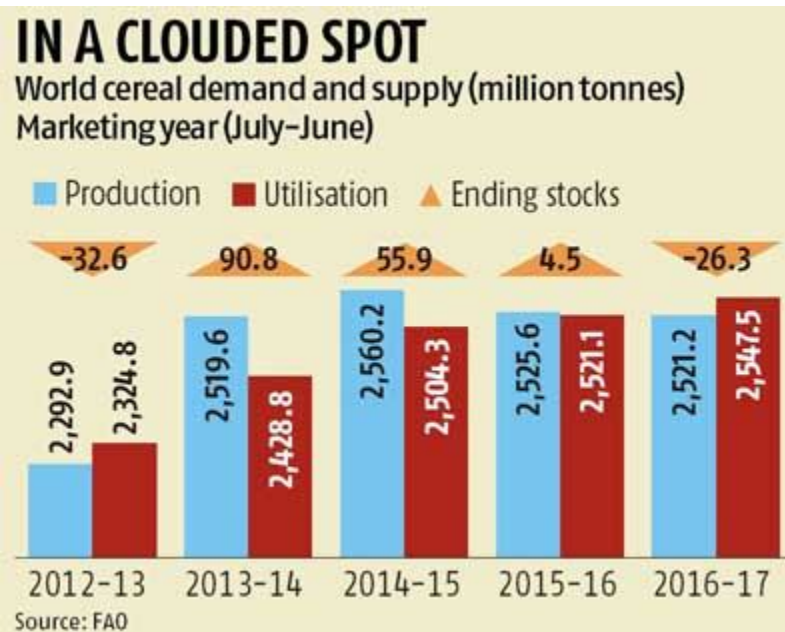


sorgo





Based on FAO's latest market assessment, global cereal production is seen heading toward a new record level in 2017. As a result, world cereal supplies in 2017/18 should reach even higher levels than previously projected, boosting world ending stocks of cereals by the close of seasons in 2018 to an all-time high



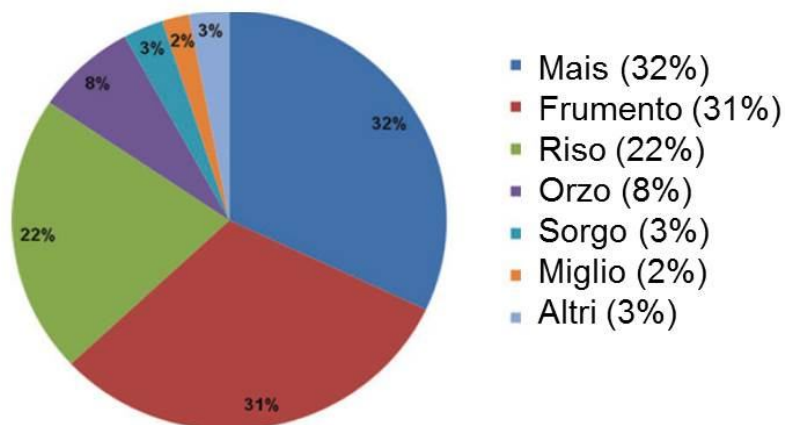


Top countries in cereal production:



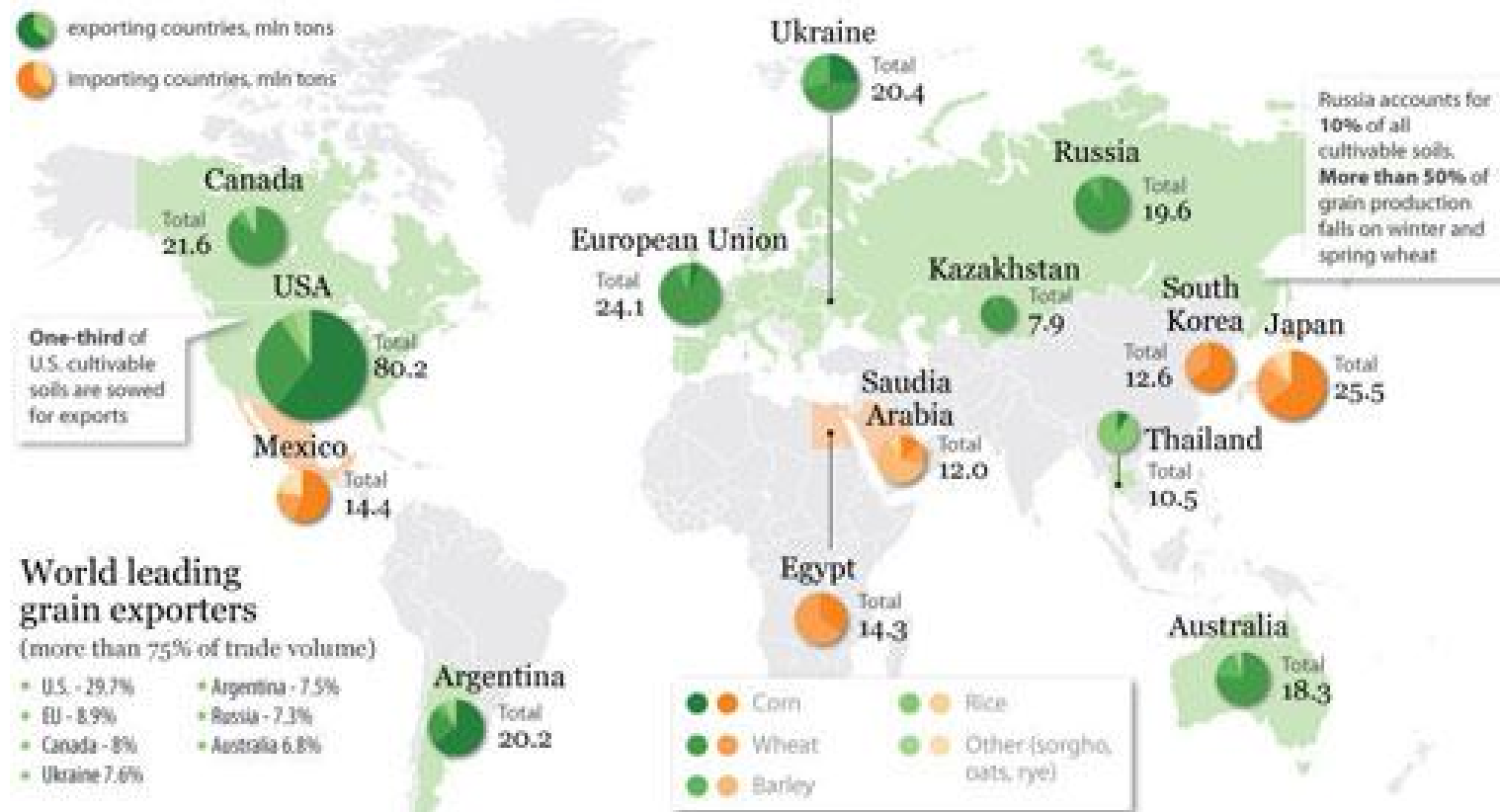
Rank	Country	Production (Metric tones)
1	China	422,599,164
2	United States	387,397,546
3	India	226,330,000
4	Russia	74,465,000
5	France	69,676,000

Produzione di cereali nel mondo





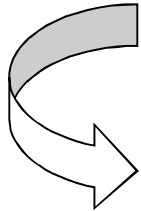
World grain exporters and importers





Frumento (duro e tenero), orzo, avena e segale

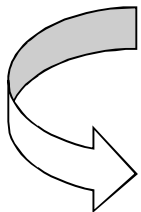
sono tutte specie con caratteri morfologici, fisiologici ed ecologici simili e costituiscono il gruppo dei cereali **MICROTERMI**



con basse esigenze termiche e coltivati, in Italia, in prevalenza con ciclo autunnale-primaverile

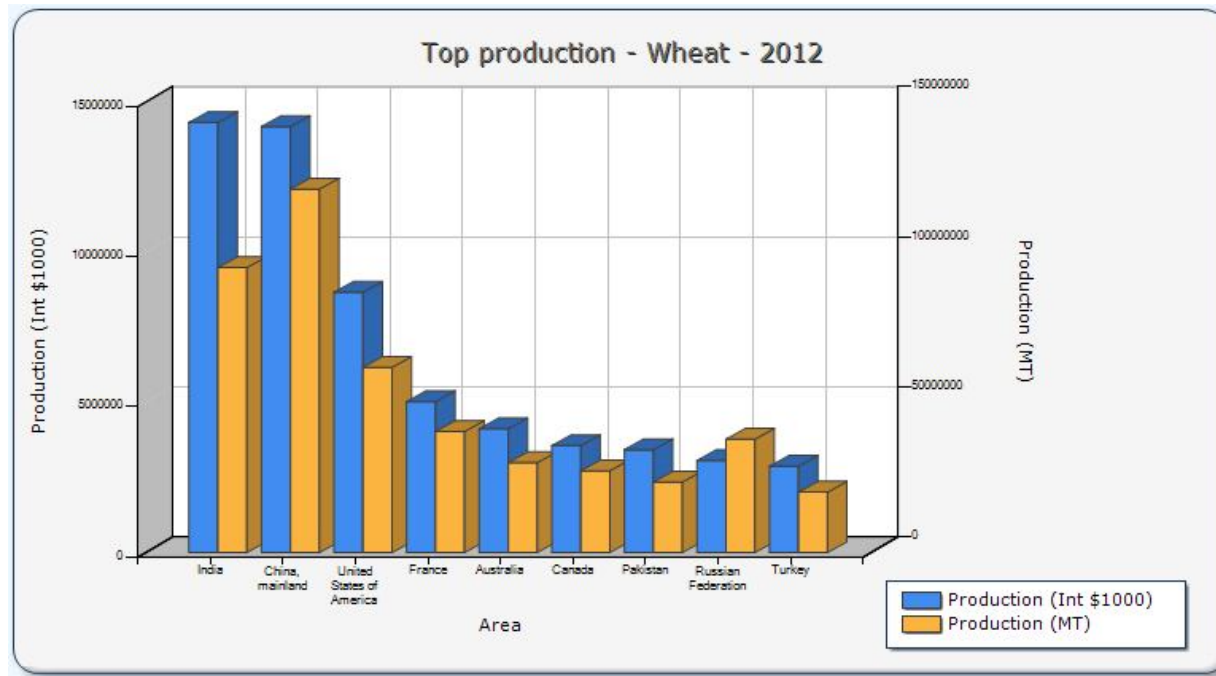
Riso, mais, sorgo e miglio

Costituiscono il gruppo dei cereali **MACROTERMI**



hanno elevate esigenze termiche e svolgono il loro ciclo nel periodo primaverile-estivo.







Ploidia	Specie	Tipo seme
<u>Diploidi</u> (2n:14; AA)	<i>Triticum aegylopoides</i>	vestito
	<i>T. monococcum</i>	vestito
<u>Tetraploidi</u> (2n: 28; AABB)	<i>Triticum dicocoides</i>	vestito
	<i>T. dicoccum</i>	vestito
	<i>T. durum</i>	nudo
	<i>T. turgidum</i>	nudo
	<i>T. polonicum</i>	nudo
	<i>T. pyramidale</i>	nudo
	<i>T. persicum</i>	nudo
<u>Esaploidi</u> (2n: 42; AABBCC)	<i>Triticum spelta</i>	vestito
	<i>T. aestivum</i> (o <i>T. vulgare</i>)	nudo
	<i>T. macha</i>	vestito
	<i>T. compactum</i>	nudo
	<i>T. sphaerococcum</i>	nudo





Classificazione:

Famiglia

Graminaceae

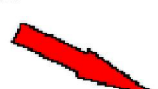
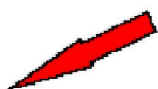
Genere

Triticum

Apparato radicale

- fascicolato
- esplorato \varnothing 15 –25 cm
- profondità 30-40 cm (fino 60) secondo specie, cv., terreno

radici



embrionali (seminali) 5-8

- funzionati per tutto ciclo
- utili soprattutto all'inizio

avventizie (o della corona)

- da nodi basali (superficiali)
- originate da corona (nodi vicini)
(ca.3 settimane dopo emerg.)





Fusto (nelle graminacee detto **culmo**)

- cilindrico
- 7- 9 nodi, ognuno con foglia e meristema



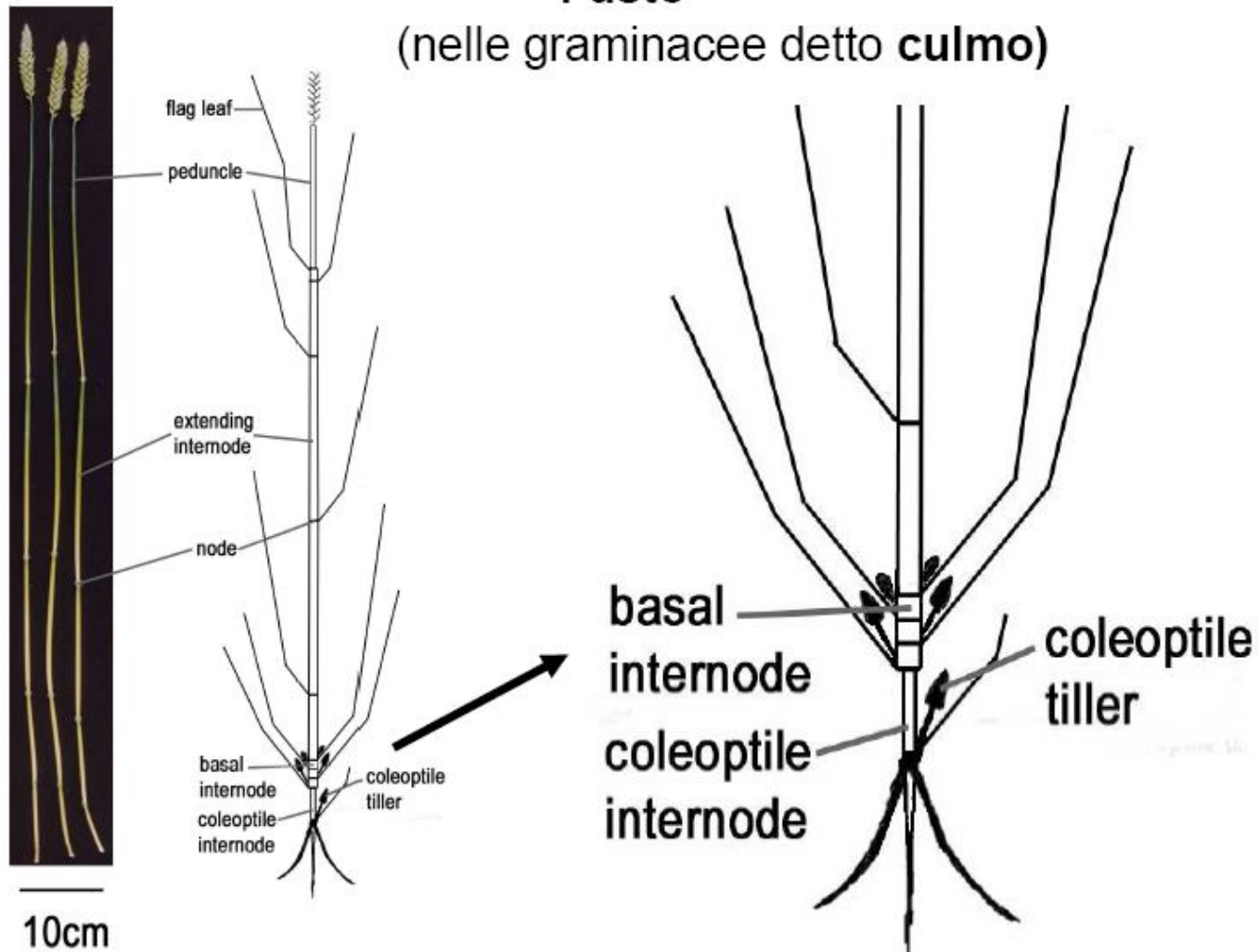
allungamento internodi

- $> n^{\circ}$ nodi $>$ lunghezza ciclo
- 60 – 180 cm lunghezza culmo
- internodi cavi
- possibili più culmi oltre a principale (secondari, terziari, ecc.): accestimento





Fusto (nelle graminacee detto **culmo**)





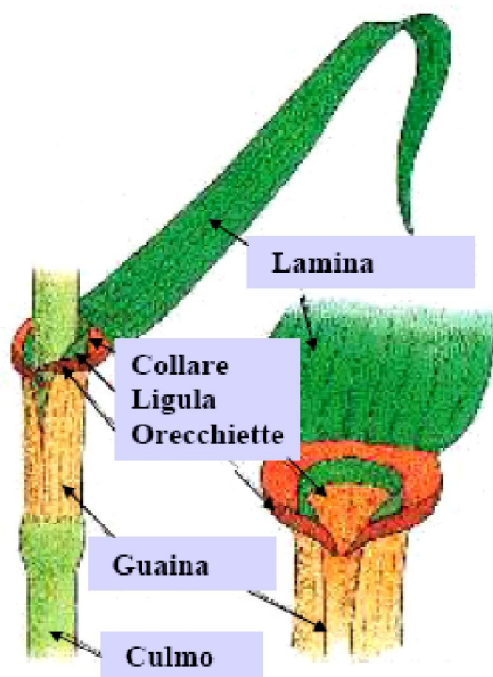
Foglie



1° foglia: coleoptile, cilindrico, cavo, senza lamina, racchiude la plantula con 3-4 foglie

1° foglia vera: piumetta, perfora coleoptile (inizio fotosintesi)

altre foglie: in modo alterno sui nodi del culmo



Foglia

Lamina: lineare, parallelinervia, 1,5 cm largh. 15-20 lungh.

Guaina: avvolge fusto per 2/3

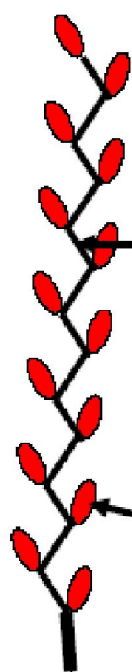
Ligula: sottile, incolore, membranacea protegge guaina

Auricole: pelose, falciformi, verdi-chiare





Infiorescenza



Spiga: composta, terminale

Rachide: asse principale a zig-zag,
internodi corti

- resistente a disarticolazione



nudi*

- facile a disarticolazione



vestiti*

Spighetta: a ogni nodo del rachide (pluriflore)



*: si riferisce a presenza (vestiti) o assenza (nudi) glumette aderenti a pericarpo alla maturità



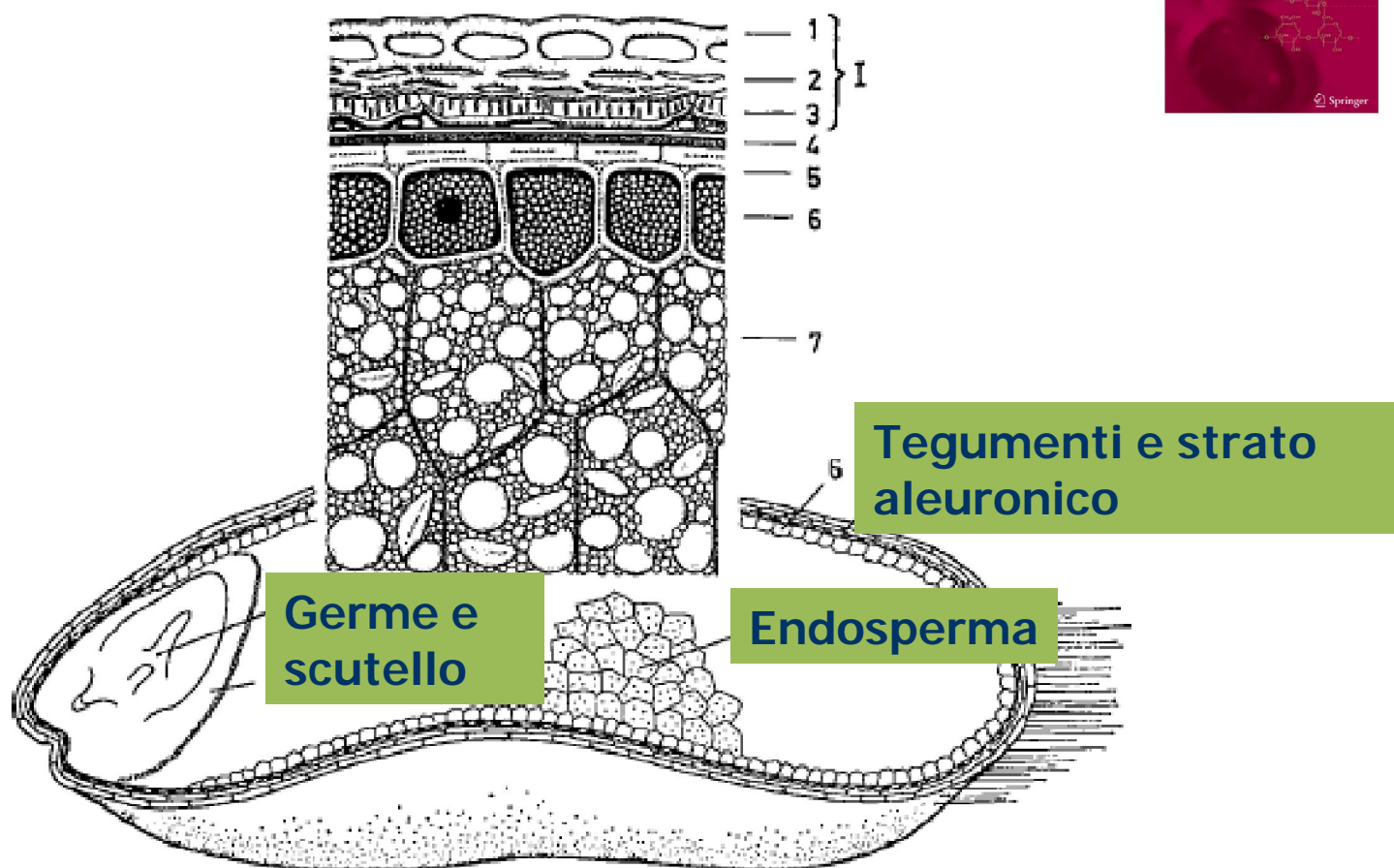
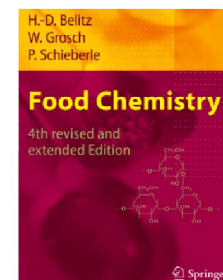


Fig. 15.2. Longitudinal section of a wheat grain. 1 Pericarp, 2 epidermis (epicarp), 3 hypodermis, 4 tube cells, 5 seed coat (testa), 6 nucellar tissue, 7 aleurone layer, 8 outer starchy endosperm cells, 9 inner starchy endosperm cells, 10 germ and 11 scutellum



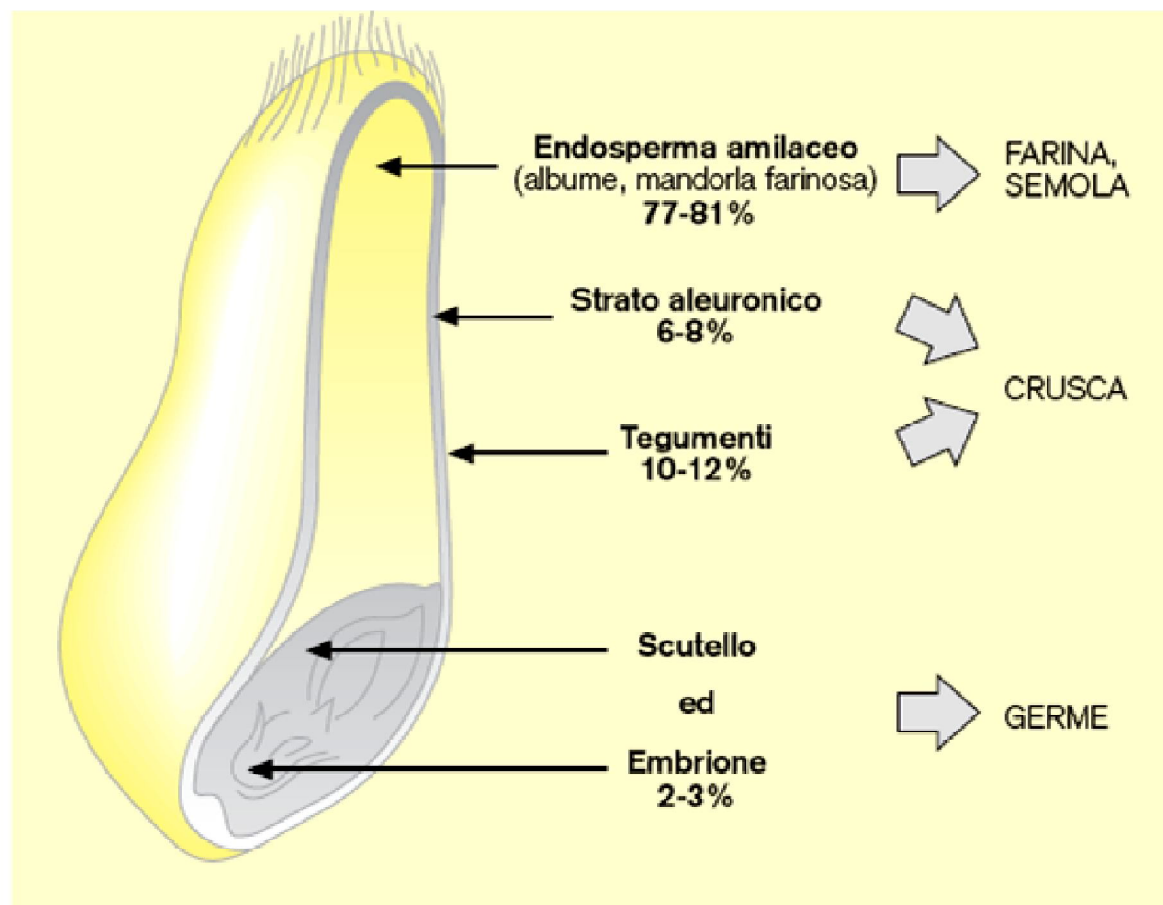


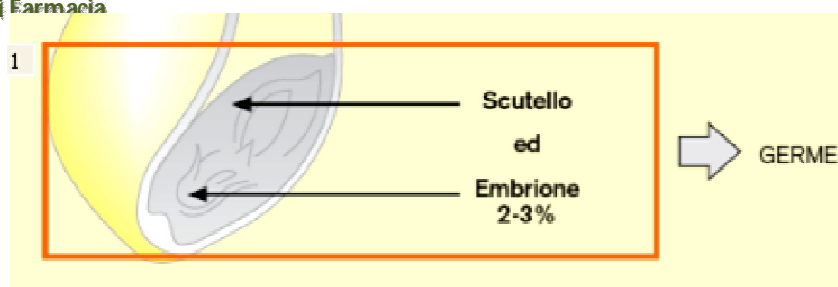
Struttura della carloside di frumento e suddivisione percentuale nelle diverse zone anatomiche con indicazione dell'origine dei prodotti e sottoprodotti di macinazione.



Gli alimenti

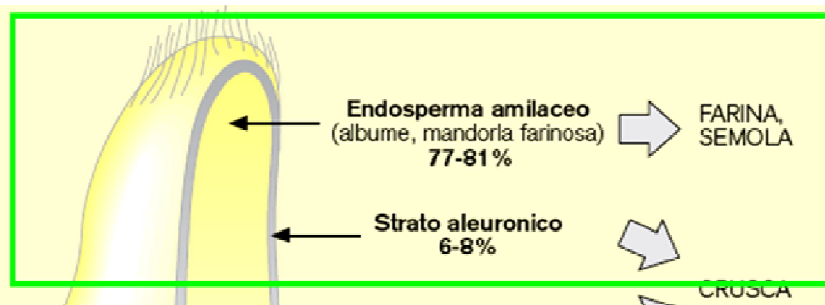
Aspetti tecnologici
e nutrizionali





L'**embrione**, o germe, consiste in un abbozzo della futura pianta (asse embrionale) e in una regione (scutello) in grado di fornire principi nutritivi alla pianta durante la germinazione.

La composizione dell'embrione è caratterizzata da un'elevata presenza in **proteine, lipidi, zuccheri solubili e vitamine.**

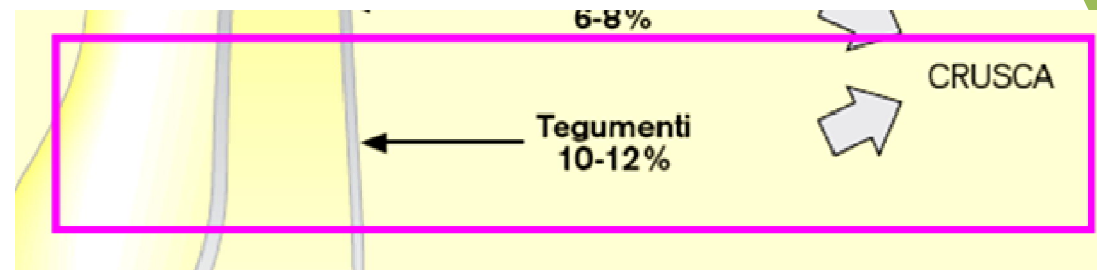


L'**endosperma** è composto da **due regioni**:

- 1) **lo strato aleuronico**
- 2) **la mandorla, o albume.**

La **frazione glucidica**, è per la maggior parte rappresentata **dall'amido**, sotto forma di **granuli**; il secondo costituente, in termini percentuali, sono le **proteine**.





I **tegumenti** sono composti da numerosi strati:
afferenti al frutto (**pericarpo**),
afferenti al seme (**testa**),
con funzione protettiva garantita dalla presenza di **fibre cellulosiche** ed **emicellulosiche**, **sali minerali** e **fitati**.

La cariosside all'interno della spiga è protetta dalle **glume o brattee**.
Cariossidi "vestite" - "nude" o "svestite"

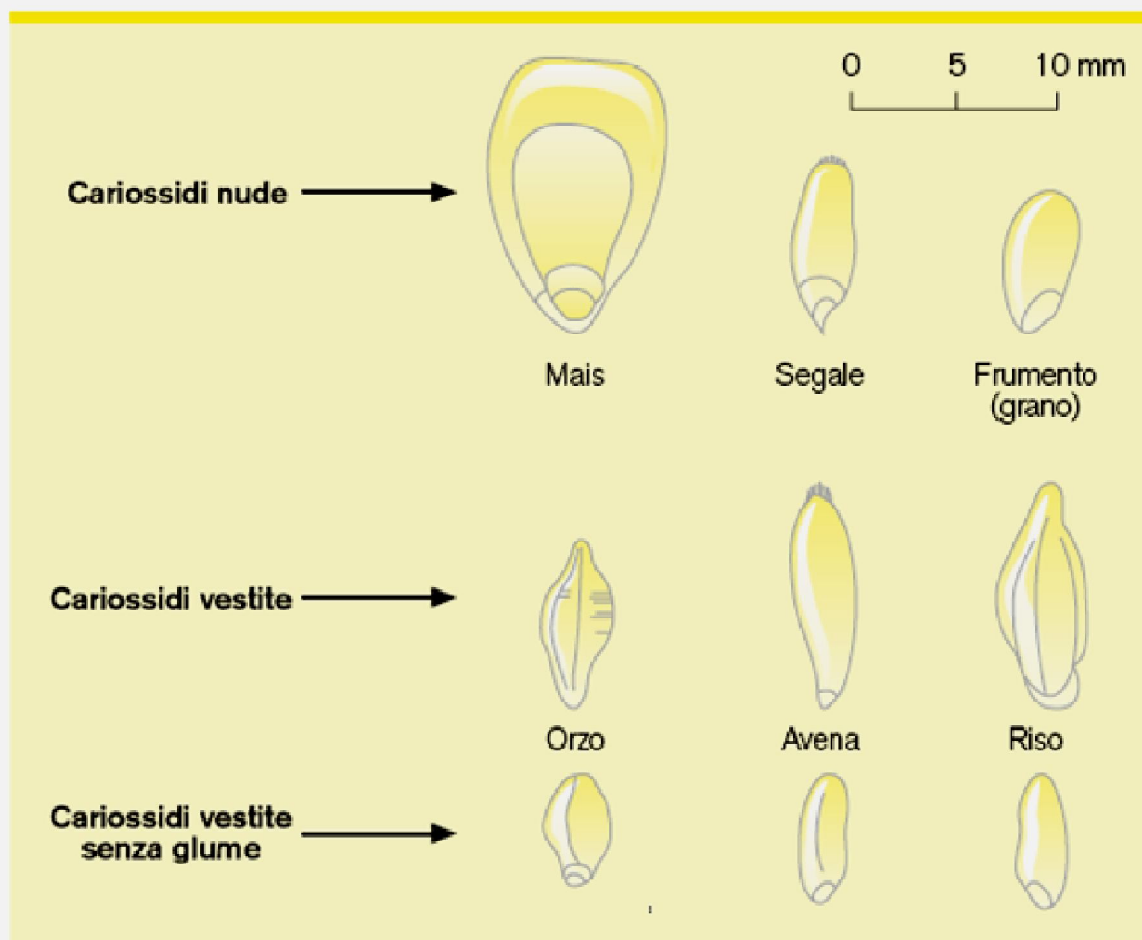
L'eliminazione delle **glume** nelle cariossidi vestite è indispensabile se il cereale è destinato ad usi alimentari, a causa dell'elevato contenuto in silice.





Figura 1

Morfologia e dimensioni delle cariossidi dei principali cereali coltivati e loro suddivisione in tipi vestiti e svestiti (nudi). Le cariossidi vestite sono mostrate con e senza le glume di rivestimento.



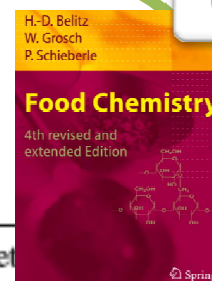


Table 15.6. Chemical composition of cereals (average values)

	Wheat	Rye	Corn	Barley	Oats	Rice	Millet
	weight %						
Moisture	13.2	13.7	12.5	11.7	13.0	13.1	12.1
Protein (N × 6.25)	11.7	9.5	9.2	10.6	12.6	7.4	10.6
Lipids	2.2	1.7	3.8	2.1	7.1	2.4 ^a	4.05
Available carbohydrates	59.6	60.7	64.2	63.3	55.7	74.1	68.8
Fiber	13.3	13.2	9.7	9.8	9.7	2.2	3.8
Minerals	1.5	1.9	1.30	2.25	2.85	1.2	1.6
	mg/kg						
Thiamine	5.5	4.4	4.6	5.7	7.0	3.4	4.6
Niacin	63.6	15.0	26.6	64.5	17.8	54.1	48.4
Riboflavin	1.3	1.8	1.3	2.2	1.8	0.55	1.5
Pantothenic acid	13.6	7.7	5.9	7.3	14.5	7.0	12.5

^a Polished rice: 0.8%.

wheat	frumento
rye	segale
corn	mais
barley	orzo
oats	avena
rice	riso
millet	miglio





Regione anatomica della cariosside	% peso rispetto alla cariosside	% Amido e altri carboidrati	% Proteine	% Lipidi	% Cellulosa Emicellulosa Pentosani	% Minerali
Tegumento frutto (pericarpo)	4	14-16	10-14	1-3	60-74	3-5
Tegumento seme (testa)	1	9-11	13-19	3-5	53-63	9-15
Strato aleuronico	8	10-14	29-35	7-9	35-41	5-15
Germe	3	19-21	36-40	13-17	20-24	4-6
Endosperma	82	80-85	8-14	2-3	1-3	0,5-1,5





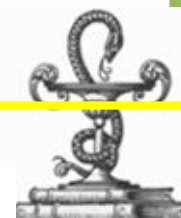
GRADO DI ABBURATTAMENTO*

	65%	80%	100%
ACQUA	14,5	14,5	14,5
PROTEINE	9	9-10	11,5
LIPIDI	1	1,2	1,4
GLUCIDI	74	73,5	68
CENERI	0,5	0,8	1,6

NB – la composizione della farina (o della semola quando si tratta di frumento duro) dipende dalla varietà di frumento (o dalle varietà usate quando si tratta di una miscela)

tasso di abburattamento

della farina la quantità di prodotto (in kg) ottenuto macinando 100 kg di grano. Tanto più alto è questo indice, tanto più grezza è la farina. Comunemente si definisce abburattata una farina più raffinata, cioè con un minor tasso di abburattamento.





Proteine

MORFOLOGIA

proteine endosperma
proteine strato aleuronico
proteine embrione

FUNZIONI BIOLOGICHE

metabolicamente attive (es. enzimi) o citoplasmtiche
proteine diriserva (alto e basso peso molecolare)

COMPOSIZIONE CHIMICA

proteine semplici
proteine complesse (es. glicoproteine, lipoproteine)





Proteine

SOLUBILITA'

Proteine Funzionali

{ albumine
globuline }

Proteine Citoplasmatiche

Proteine del Glutine

{ gliadine
glutenine }

Proteine di Riserva





Proteine

Classificazione di Osborne e Shewry

Proteine Citoplasmatiche (15-20%)

Albumine

Globuline

Proteine di Riserva (40-50%)

Gliadine (30-40%)

Monomeriche
PM=25-75kDa

ω -gliadine

β -gliadine
 α -gliadine
 γ -gliadine

Glutenine (40-50%)

Polimeriche
PM>100kDa

SGLPM
subunità a basso PM

SGHPM
subunità ad alto PM

Prolammine

povere in zolfo

ricche in zolfo

alto PM

Proteine Funzionali

Proteine del Glutine



Distribuzione Proteine

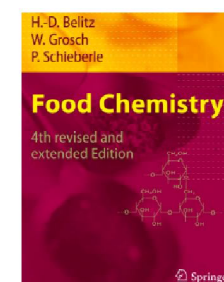
Table 15.12. Protein distribution (%)^a in *Osborne-fractions*^b

Fraction	Wheat	Rye	Barley	Oats	Rice	Millet	Corn
Albumins	14.7	44.4	12.1	20.2	10.8	18.2	4.0
Globulins	7.0	10.2	8.4	11.9	9.7	6.1	2.8
Prolamins	32.6	20.9	25.0	14.0	2.2	33.9	47.9
Glutelins ^c	45.7	24.5	54.5	53.9	77.3	41.8	45.3

^a Calculated from amino acid analyses.

^b Ash content of the flours (% based on dry weight), wheat (0.55), rye (0.97), barley (0.96), oats (1.87), rice (1.0), millet (1.10), and corn (0.33).

^c Protein residue after extraction of prolamins.



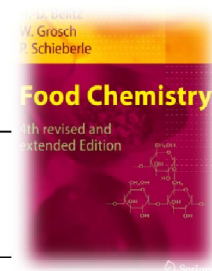


Table 15.14. Classification and properties of gluten proteins

Group	HMW		MMW		LMW		
	HMW Subunits		ω -Gliadins				
	x-Type	y-Type	ω 5	ω 1,2	α -Gliadins	γ -Gliadins	LMW Subunits
$M_r \times 10^{-3}$ (SDS-PAGE) ^a	104–124	90–102	66–79	55–65	32	38–42	36–44
$M_r \times 10^{-3}$ (sequence) ^b	83–88	67–74	44–55 ^c	34–44 ^c	28–35	31–35	32–39
Number of amino acid residues	770–827	627–684	n.a.	n.a.	262–298	272–308	281–333
Content of gluten proteins	4–9%	3–4%	3–6%	4–7%	28–33%	23–31%	19–25%
Number of cysteine residues	4	7	0	0	6	8	8
$\mu\text{molCys/g flour}$	0.3	0.3	0	0	6.0	6.7	5.0

^a Result of electrophoresis.

^b Calculated from the amino acid sequence.

^c Determined with MALDI-TOF mass spectrometry.

n.a.: not analyzed.



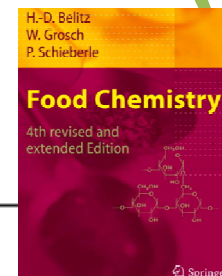


Table 15.15. Amino acid composition^a of protein groups of wheat gluten (cultivar Rektor)

	HMW subunits of glutenin	ω5- Gliadins	ω1,2- Gliadins	LMW subunits of glutenin	α- Gliadins	γ- Gliadins
Asx	0.7–0.9	0.3–0.5	0.5–1.3	0.7–1.5	2.7–3.3	1.9–4.0
Thr	3.2–3.8	0.4–0.6	0.8–2.3	1.8–2.9	1.5–2.3	1.6–2.4
Ser	6.4–8.4	2.6–3.3	5.8–6.3	7.7–9.5	5.3–6.6	4.9–6.8
Glx	35.9–37.0	55.4–56.0	42.5–44.9	38.0–41.9	35.8–40.4	34.2–39.1
Pro	11.2–12.8	19.7–19.8	24.8–27.4	14.0–16.2	15.0–16.6	15.8–18.4
Gly	18.2–19.8	0.6–0.8	0.9–2.1	2.3–3.2	1.9–3.2	2.0–3.0
Ala	2.9–3.5	0.2–0.3	0.3–1.3	1.7–2.3	2.6–4.1	2.8–3.5
Cys	0.6–1.3	0.0	0.0	1.9–2.6	1.9–2.2	2.2–2.8
Val	1.6–2.7	0.3	0.6–1.4	3.8–5.3	4.2–4.9	4.4–5.4
Met	0.1–0.3	0.0	0.0–0.3	1.2–1.6	0.4–0.9	1.2–1.6
He	0.7–1.1	4.3–4.7	1.9–3.5	3.6–4.4	3.6–4.6	4.0–4.6
Leu	3.1–4.3	2.7–3.3	3.9–5.3	5.3–7.5	6.5–8.7	6.4–7.3
Tyr	5.1–6.4	0.6–0.7	0.8–1.5	0.9–1.9	2.3–3.2	0.6–1.4
Phe	0.2–0.5	9.0–9.5	7.6–8.1	3.8–5.5	2.9–3.9	4.7–5.6
His	0.8–1.9	1.3–1.4	0.6–1.1	1.3–1.8	1.4–2.8	1.1–1.5
Lys	0.7–1.1	0.4–0.5	0.3–0.6	0.2–0.6	0.2–0.6	0.4–0.9
Arg	1.6–2.1	0.5–0.6	0.5–1.4	1.5–2.1	1.7–2.9	1.2–2.9

^a mol % (without Trp).





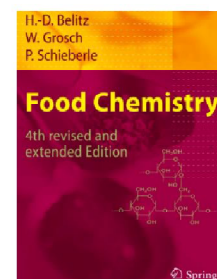
Table 15.10. Amino acid composition of the total proteins (mole-%)^a of flours from various cereals

Amino acid	Wheat	Rye	Barley	Oats	Rice	Millet	Corn
Asx	4.2	6.9	4.9	8.1	8.8	7.7	5.9
Thr	3.2	4.0	3.8	3.9	4.1	4.5	3.7
Ser	6.6	6.4	6.0	6.6	6.8	6.6	6.4
Glx	31.1	23.6	24.8	19.5	15.4	17.1	17.7
Pro	12.6	12.2	14.3	6.2	5.2	7.5	10.8
Gly	6.1	7.0	6.0	8.2	7.8	5.7	4.9
Ala	4.3	6.0	5.1	6.7	8.1	11.2	11.2
Cys	1.8	1.6	1.5	2.6	1.6	1.2	1.6
Val	4.9	5.5	6.1	6.2	6.7	6.7	5.0
Met	1.4	1.3	1.6	1.7	2.6	2.9	1.8
Ile	3.8	3.6	3.7	4.0	4.2	3.9	3.6
Leu	6.8	6.6	6.8	7.6	8.1	9.6	14.1
Tyr	2.3	2.2	2.7	2.8	3.8	2.7	3.1
Phe	3.8	3.9	4.3	4.4	4.1	4.0	4.0
His	1.8	1.9	1.8	2.0	2.2	2.1	2.2
Lys	1.8	3.1	2.6	3.3	3.3	2.5	1.4
Arg	2.8	3.7	3.3	5.4	6.4	3.1	2.4
Trp	0.7	0.5	0.7	0.8	0.8	1.0	0.2
Amide group	31.0	24.4	26.1	19.2	15.7	22.8	19.8

^a Mol amino acid per 100 mol amino acids.

Gli aa evidenziati in rosso sono cosiddetti essenziali mentre quelli evidenziati in verde semi-essenziali.

La Lys è l'aa limitante! Se si compara il pattern aa della proteina di riferimento (FAO/WHO) si osserva come in generale i cereali presentino una distribuzione della Lys inferiore a quella ideale per un apporto nutrizionale corretto.





Some national and international recommended amino acid scoring patterns, compared with that of Young et al. (19)

Amino acid	FAO ¹ (1957) (15)	FAO-WHO (1973) (16)	NRC (1974) (17)	FAO-WHO-UNU (1985) (14)				Young et al. (19) for preschool through adults
				Infant (1 y)	Preschool child (2-5 y)	School-age child (6-12 y)	Adult (12 y)	
				mg/g crude protein				
Histidine	—	14	17	26	14	19	—	—
Isoleucine	42	40	42	46	28	28	13	35
Leucine	48	70	70	93	66	44	19	65
Lysine	42	55	51	66	58	44	16	50
Total sulfur amino acids	42	35	26	42	25	22	17	25
Total aromatic	56	60	73	72	63	22	19	65
Threonine	28	40	35	43	34	28	9	25
Tryptophan	14	10	11	17	11	9	5	10
Valine	41	50	48	55	35	25	13	35
Total (without histidine)	314	360	356	434	320	222	111	310

¹Abbreviations used: FAO, Food and Agriculture Organization, UNU, United Nations University, NRC, National Research Council, WHO, World Health Organization.





Proteine del glutine

Il glutine è una massa visco-elastica costituita da alcune frazioni proteiche presenti nei cereali: **gliadine** e **glutenine** le quali formano legami primari (legami a ponte disolfuro, legami ionici) e secondari (legami a ponte idrogeno, forze di dispersione ecc.) intra- ed inter-molecolari.

Le subunità ad alto peso molecolare (HMW) delle **glutenine** di tipo x hanno buone attitudini a formare aggregati lineari mediante legami S-S tra le Cys C^d e C^z .

Le subunità HMW di tipo y invece formano legami S-S prevalentemente con le LMW e non contribuiscono alla formazione di aggregati intermolecolari.

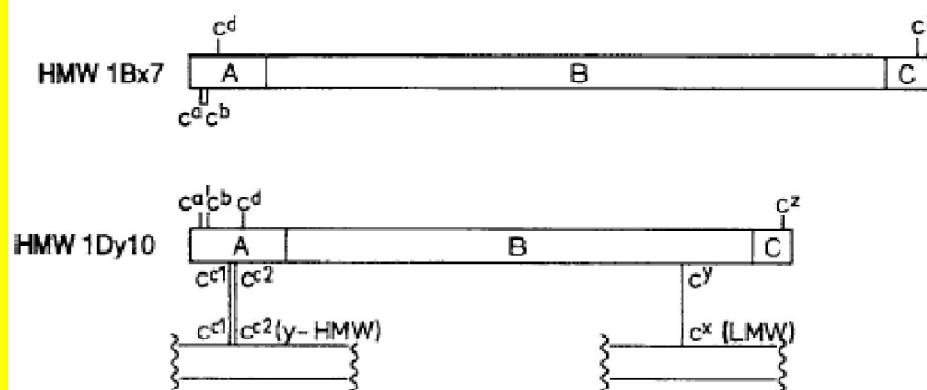


Fig. 15.12. Schematic representation of the disulfide structures of HMW subunits of the x-type and y-type (according to Köhler et al., 1993). Segments A-C (cf. Table 15.17). Nomenclature of the cysteine residues as in Fig. 15.10.





Le costituenti a basso PM delle **glutenine** (LMW) contribuiscono ad aumentare la forza dell'impasto avendo una buona attitudine a formare legami tra i residui cisteinici Cys Cb* e Cx. Di fatto però per ottenere lo stesso effetto di resistenza meccanica prodotto dall'interazione delle HMW è necessario il doppio delle LMW. Le HMW inoltre formano legami S-S altamente direzionali rispetto alle LMW i cui legami tra residui di Cys hanno una direzionalità variabile.

Le **gliadine** (α e γ) svolgono un ruolo di tipo solvente (definito *lubrificante*). Formando aggregati con le **glutenine** esse aumentano la viscosità dell'impasto.

NB: le caratteristiche visco-elastiche del glutine dipendono dal rapporto glutenine/gliadine e non tanto dalle quantità assolute presenti nel cereale.

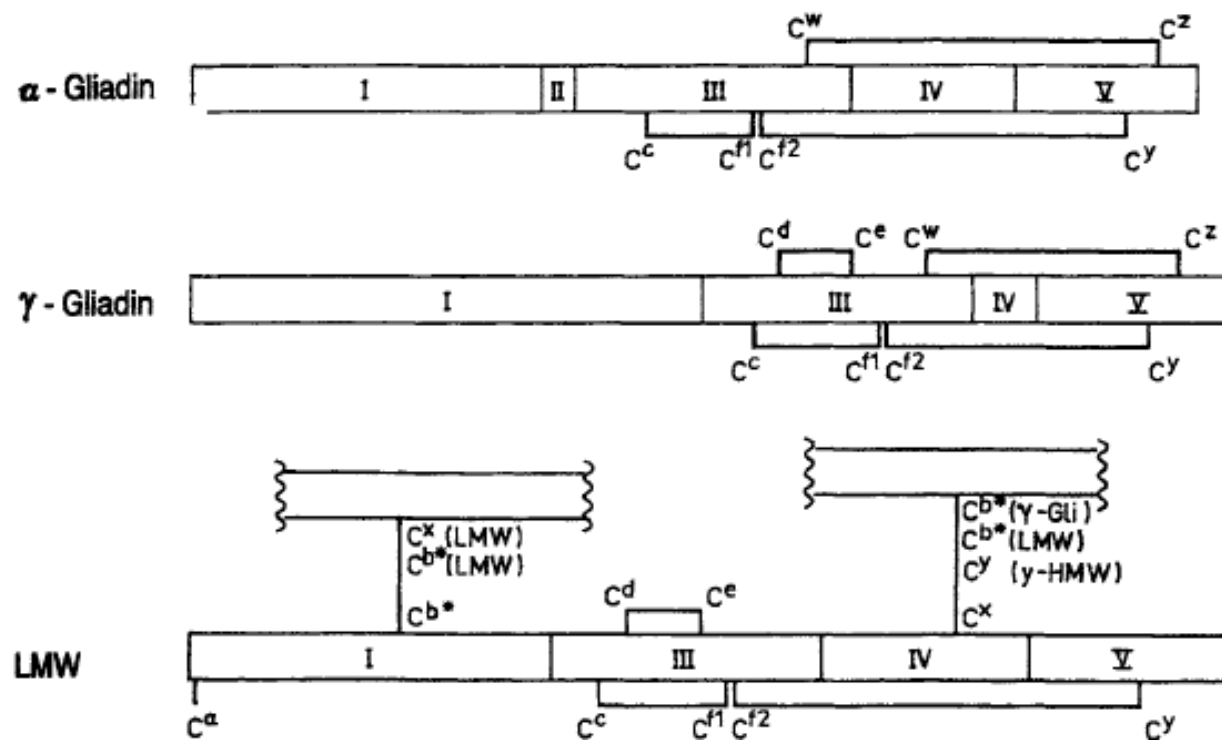


Fig. 15.10. Schematic representation of the disulfide structures of α -gliadins, γ -gliadins and LMW subunits (according to Köhler et al., 1993). Segments I-V (cf. Table 15.18)



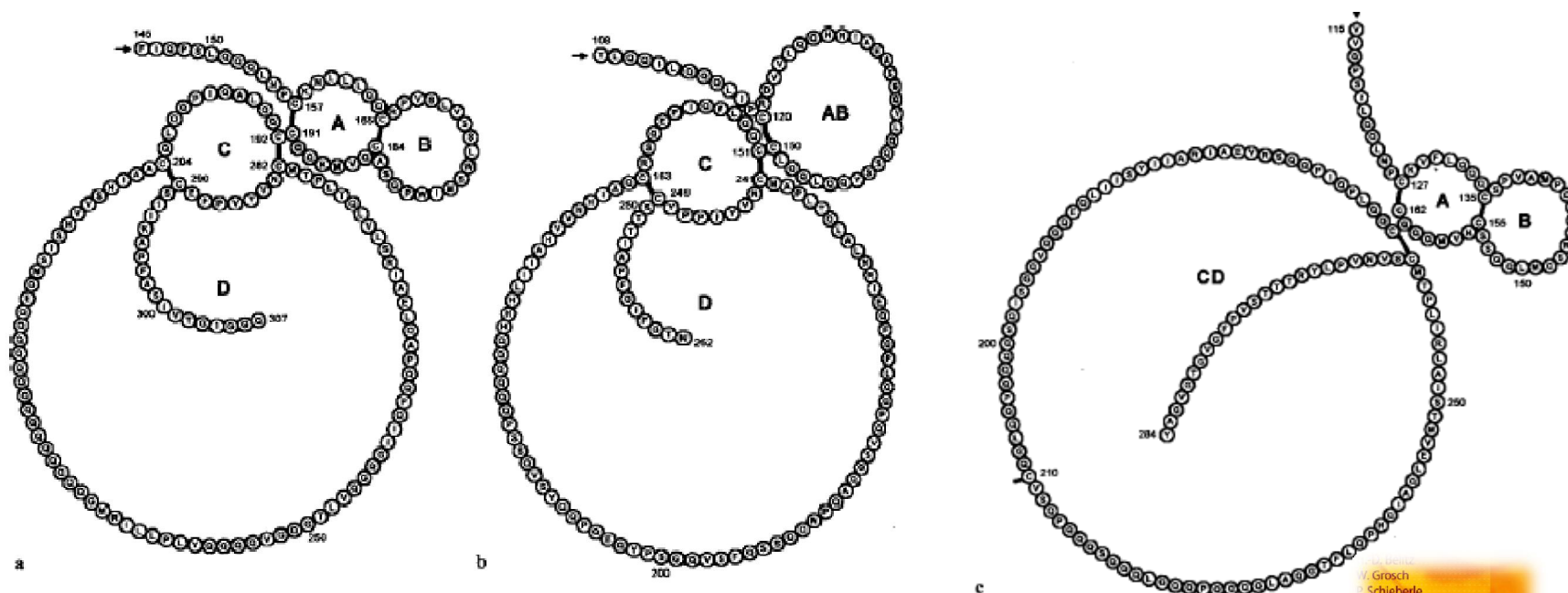
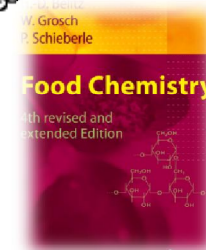


Fig. 15.11. Schematic two-dimensional structures of the C-terminal segments of γ -gliadin (a), α -gliadin (b) and LMW subunits (c) (according to Müller and Wieser, 1997)

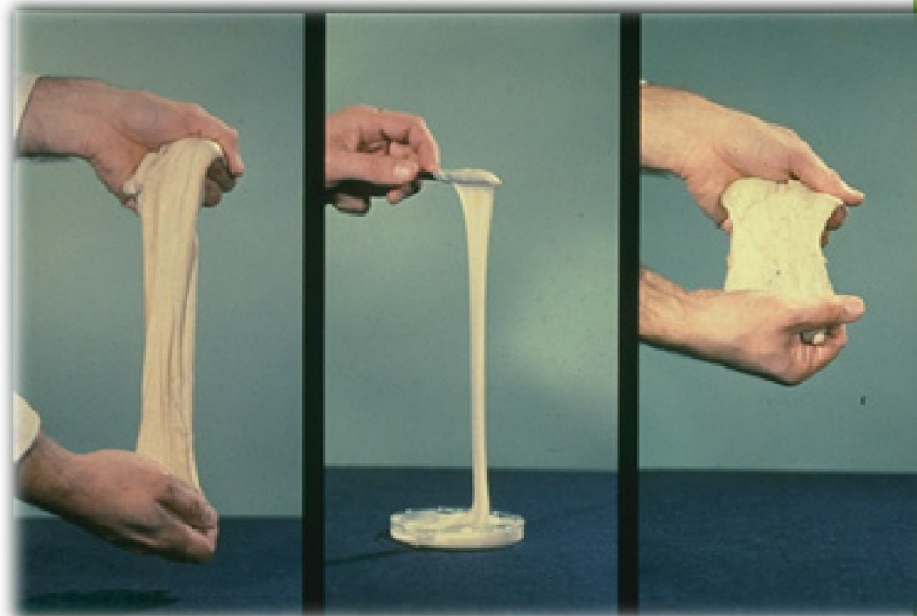
Le gliadine sono principalmente monomeriche e presentano legami intramolecolari di tipo ponte disolfuro (S-S) tra residui Cys. Hanno una ridotta tendenza a formare aggregati; questa peculiarità dà ragione del fatto che il loro contributo alle caratteristiche meccaniche del glutine è di aumentare l'elasticità dell'impasto.





Durante la formazione (sviluppo del glutine) è possibile individuare alcuni passaggi:

- 1) **idratazione** > assorbimento di acqua (T_{amb}) e formazione di una dispersione stabile a cui corrisponde un aumento della viscosità del sistema.
- 2) **formazione di legami intra- ed inter-molecolari** > formazione di legami S-S, legami a ponte idrogeno (residui aa polari -OH, -NH₂ ecc), legami ionici (residui aa -COOH) e perdita della struttura nativa. Formazione aggregati ad alto peso molecolare.
- 3) **denaturazione** > dovuta a variazioni di pH, aumento della temperatura (cottura) presenza di sostanze denaturanti con conseguente perdita delle proprietà funzionali.





310<W<370

farine di forza ottenute da grani hard esteri, utilizzate principalmente per impasti a lunga fermentazione (impasti con metodo indiretto con impiego di biga; prodotti da ricorrenza)

250<W<310

farine di forza ottenute da grani nazionali ed esteri, usate nella produzione di pani come Rosetta, Biove, Baguette

160<W<250

farine di media forza usate per paste molli (Pugliese, Ciabatta, Francese), paste dure (Ferrarese) e per il rinfresco del lievito naturale

90<W<160

farine deboli, adatte alla produzione di biscotti

W<90

farine di bassa qualità, non idonee alla panificazione



Farine per biscotti
Biscotti secchi
Wafers
Galette

Farine per pasticceria
Tartine
Pasta sfoglia
Babà

Farine per panificazione
Rosetta
Maggiolino
Ciabatta
Biove
Pasta dura
Baguettes
Francesino

Farine per paste lievitate
Pandoro
Panettone
Colomba
Brioche
Croissant



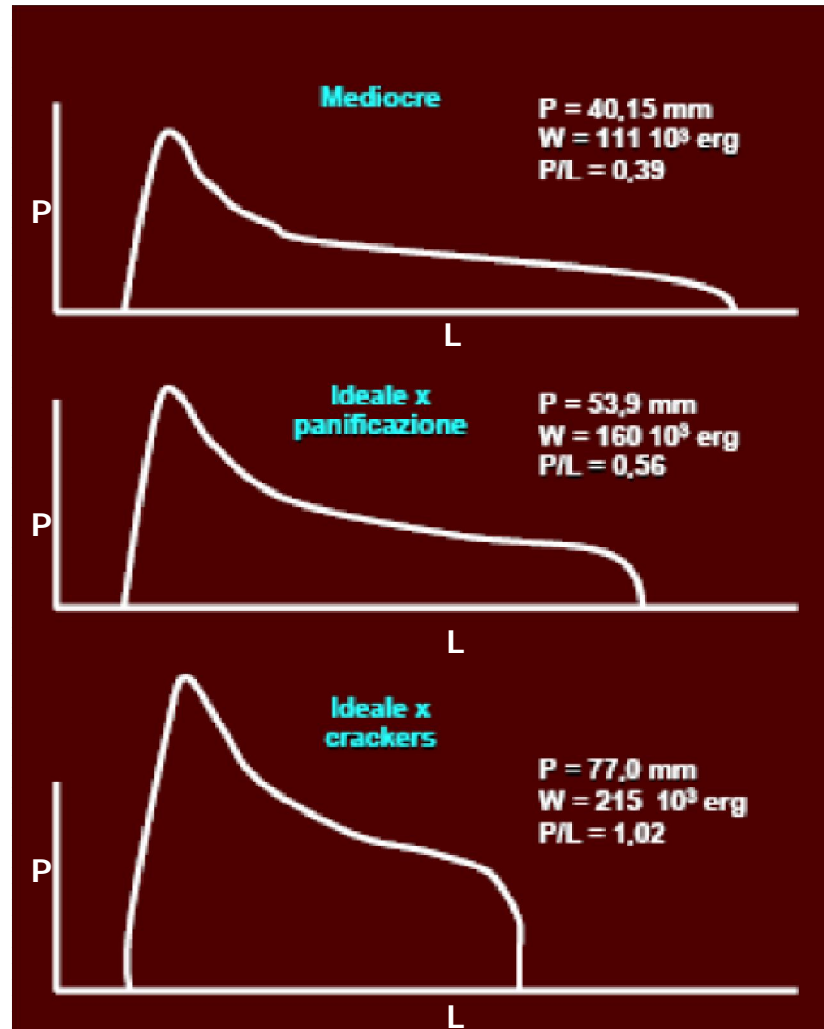
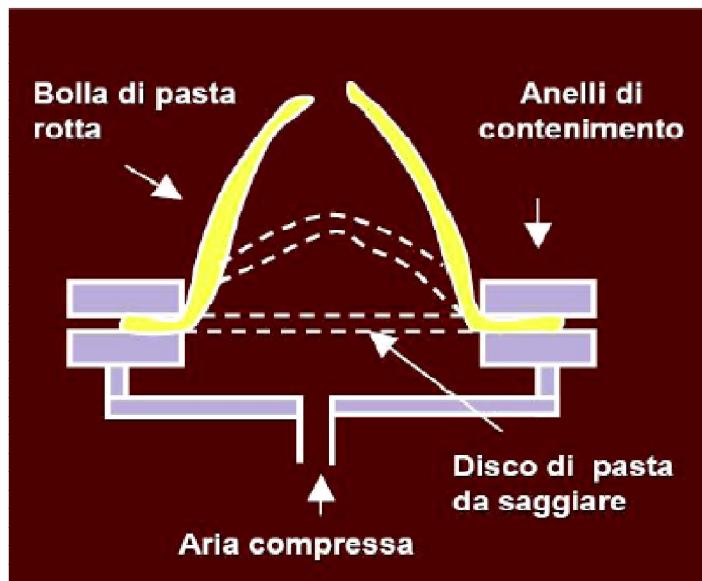


INDICE W	ASSORBIMENTO	FORZA	UTILIZZO
$W < 160$	Assorbono acqua pari al 50% circa del loro peso.	Farine deboli	Biscotti, cialde, dolci friabili, pasta frolla e creme.
$160 < W < 250$	Assorbono acqua pari al 55%-65% del loro peso.	Farine medie	Pane, pizze e focacce.
$250 < W < 350$	Assorbono acqua pari a circa il 65% 75% del loro peso.	Farine forti	Pane, pizze, dolci lievitati e pasta sfoglia.
$350 < 400$	Assorbono acqua in quantità fino al 90% circa del loro peso.	Farine speciali (v. farina <u>Manitoba</u>)	Panettoni, pandori, bignè, croissant e impasti a lunga lievitazione. Nelle miscele per "rinforzare" le farine più deboli.





Alveografo di Chopin





W: area dell'alveogramma esprime la forza della farina

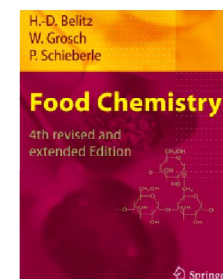
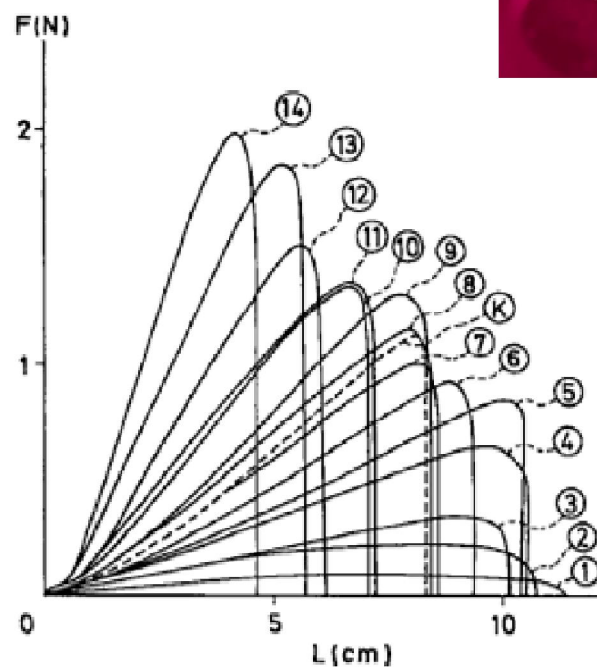
P: tenacità

L: estensibilità

P/L: rapporto tra tenacità ed estensibilità, indica le caratteristiche di viscosità ed elasticità dell'impasto. E' un indice importante per valutare la "lavorabilità".



Fig. 15.14. Tensile tests of glutens with varying content of gliadin (gluten K from retail wheat flour was extracted with 70% aqueous ethanol. The extracted gliadin and the remaining glutenin were freeze dried, remixed in different proportions, and then hydrated. Gliadin content of the glutens: K) 33.9%, 1) 55.9%, 14) 22.6%; the gliadin contents of the other samples are in between, according to *Kim et al.*, 1988)





Parametri	Metodi e strumenti	Significato e valori
Tenore Proteico (% s.s)	Si riceva moltiplicando per 5.7 il contenuto in azoto determinato dalla sostanza secca	Esprime indirettamente la quantità di glutine, cioè della frazione di proteine insolubili in acqua, che rappresenta circa l'80% delle proteine totali
Indice alveografico W	Si misura con l'Alveografo di Chopin, che registra graficamente le variazioni di pressione subite dalla farina in fase di rigonfiamento fornendo un diagramma, l'alveografo, la cui area è appunto il w	Esprime la forza della farina, cioè la capacità di assorbire acqua e di rigonfiarsi aumentando il volume con la lievitazione W alto = volume elevato W basso = volume ridotto
Indice alveografico P/L	Si ricava anch'esso dall'alveogramma come rapporto tra la tenacità (P), che misura la resistenza massima alla deformazione, e la estensibilità (L), che misura l'allungamento massimo raggiunto al punto di rottura dell'impasto	Misura la morbidezza e la lavorabilità dell'impasto e condiziona la porosità delle molliche ottenibili. P/L basso = impasto morbido ed estensibile, pane soffice P/L elevato = impasto duro, pane con mollica compatta
Indice farinografico di stabilità (minuti)	Si misura con il farinografo di Brabender, che registra la resistenza che le pale di una impastatrice incontrano nel mescolare una quantità di farina e acqua	Esprime la capacità dell'impasto di mantenere nel tempo la consistenza ottimale. Sono sempre preferiti valori elevati
Indice di caduta (secondi)	Misura in quanto tempo un gel d'amido ottenuto dalla farina è degradato dai soli enzimi presenti nell'impasto mentre la temperatura sale a 100°C	Esprime la rapidità con cui l'impasto metterà a disposizione gli zuccheri per la fermentazione dei lieviti. 240-300 secondi = ottimo > 350 secondi = perdita di attività enzimatica (es. per eccessivo invecchiamento) < 160 secondi = amido già degradato (pre-germinazione)





Carboidrati

La maggior parte dei carboidrati presenti nella cariosside dei cereali è rappresentata **dall'amido**, macromolecola con funzioni di riserva, localizzata esclusivamente **nell'endosperma**.

La pianta, a partire dal glucosio, sintetizza due diversi polimeri, **l'amilosio** e **l'amilopectina**, stoccati nelle cellule sotto forma di granuli.

La sintesi dell'amido avviene in organelli cellulari, detti **AMILOPLASTI**. A partire da un punto detto **ILO** e per deposizione successiva di strati esterni, si formano dei granuli (crescita dall'interno verso l'esterno).

La morfologia e le dimensioni di questi ultimi sono diversi a seconda della specie botanica.





Carboidrati

CEREALE	AMIDO E ZUCCHERI LIBERI	PROTEINE	LIPIDI	CELLULOSA EMICELLU- LOSA PENTOSANI	SALI MINERALI
avena	61,8 (+/- 8)	13,5 (+/- 3)	6,0 (+/- 2)	16,0 (+/- 2)	3,5 (+/-0,5)
frumento	75,6 (+/- 5)	14,5 (+/- 4)	2,0 (+/- 1)	5,7 (+/- 1)	2,2 (+/-0,3)
mais	69,8 (+/- 6)	11,6 (+/- 3)	5,8 (+/- 2)	11,6 (+/- 1)	1,2 (+/-0,1)
orzo	70,6 (+/- 5)	11,8 (+/- 3)	2,6 (+/- 1)	12,0 (+/- 1)	3,0 (+/-0,2)
segale	74,2 (+/- 4)	13,5 (+/- 4)	2,0 (+/- 0,5)	8,0 (+/- 1)	2,3 (+/-0,2)
triticale	74,4 (+/- 5)	14,5 (+/- 4)	2,0 (+/- 0,5)	6,8 (+/- 1)	2,3 (+/-0,2)





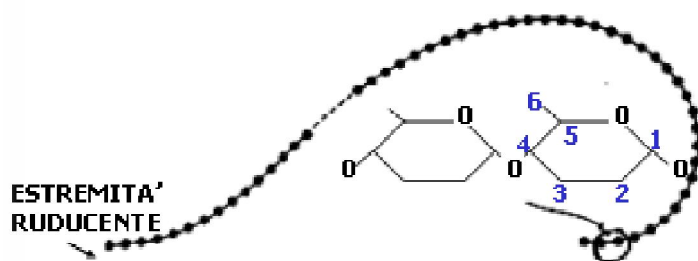
CEREALE	glucosio (%)	fruttosio (%)	maltosio (%)	saccarosio (%)	raffiniosio (%)	zuccheri liberi totali (%)
avena	0,05	0,09	0,1-0,2	0,64	0,19	1,4
frumento	0,02-0,03	0,02-		0,57-0,80	0,54-0,70	1,4-1,5
mais	0,2-0,5	0,04		0,9-1,9	0,1-0,3	1,0-3,0
orzo	0,1-0,2	0,1-0,4		1,9-2,2	-	2,0-3,0
segale	0,08	0,1		1,9	0,4	3,2
riso	0,12-0,13	0,1		0,60-0,66	0,1-0,2	0,96-1,10
		0,11- 0,13				





AMIDO

TIPO: OMOPOLISACCARIDE
ZUCCHERO: GLUCOSIO



Caratteristiche

Struttura

Legame tra unità

Unità glucosio

Lunghezza catena

Peso molecolare

Tendenza ad associarsi

Complesso con iodio

Interazione con emulsionanti

% in amido frumento

solubilità in H₂O

a freddo

a caldo

AMILOSI

essenzialmente lineare

α - 1,4

circa 10^3

500 - 2000 molecole glucosio

10^5 - 10^6

elevata

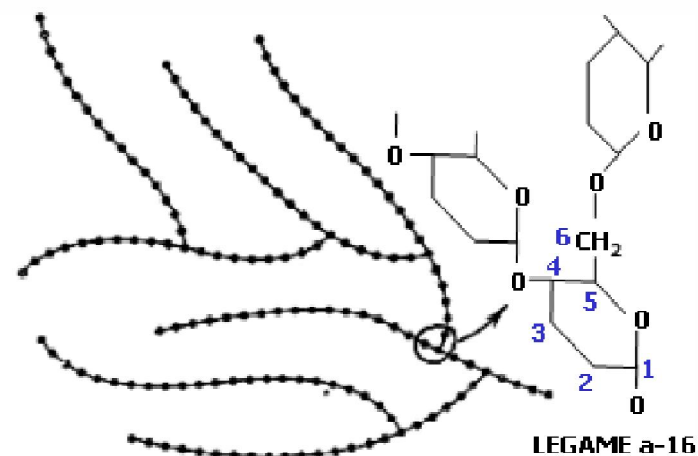
blu (650 nm l max)

forma complessi

18 - 25

insolubile

parz. solubile



AMILOPECTINA

ramificata

α - 1,4 ; α - 1,6 (4/5 % dei legami)

10^4 - 10^5

20 - 25 molecole glucosio

10^7 - 10^9

scarsa

porpora-marrone (550 nm l max)

bassa capacità

75 ramificata

insolubile

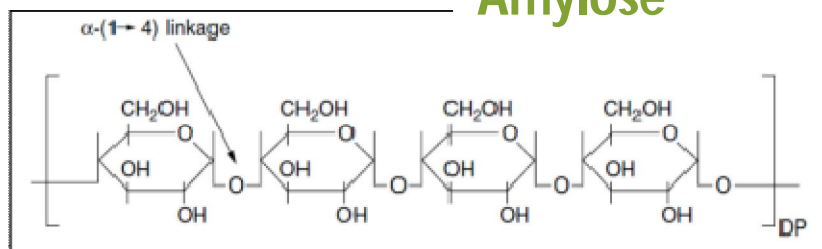
insolubile



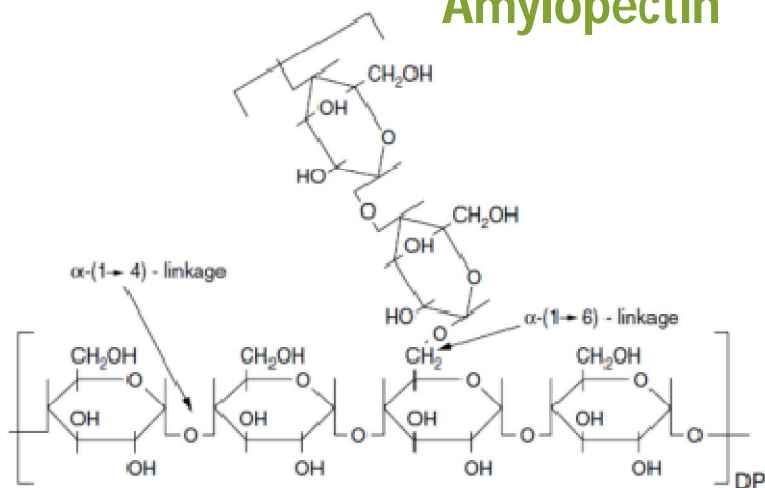


AMIDO

Amylose



Amylopectin



Plant source	Amylose content (%)
Potato	23.2
Tapioca	19.9
Waxy Maize	3.0
High amylose Maize	43.5
Maize	25.1
Rice	16.4
Pea	28.1



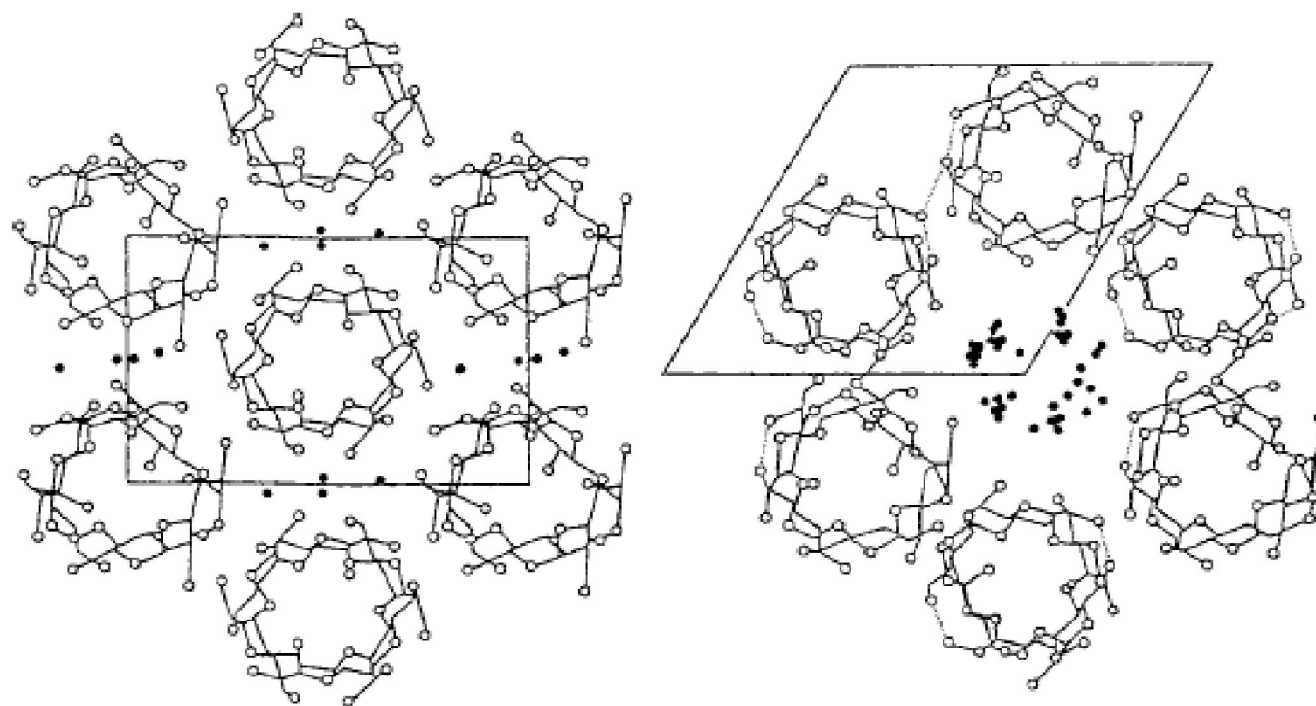
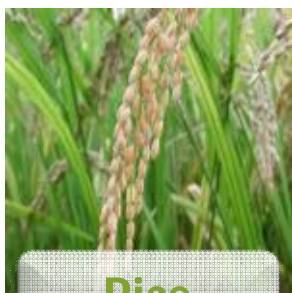
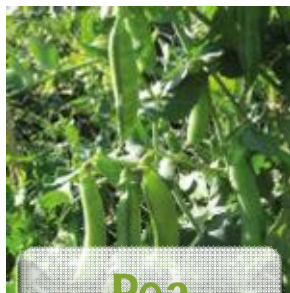


Fig. 4.33. Unit cells and arrangement of double helices (*cross section*) in A-amylose (*left*) and B-amylose (*right*) (according to Galliard, 1987)





Rice



Pea



Cassava
/Tapioca



Wheat



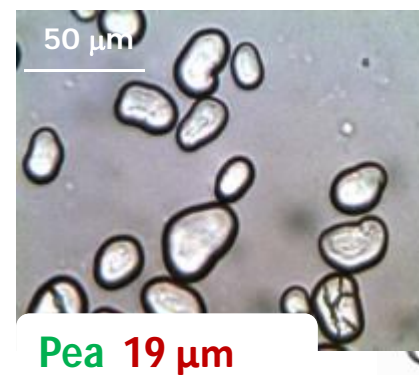
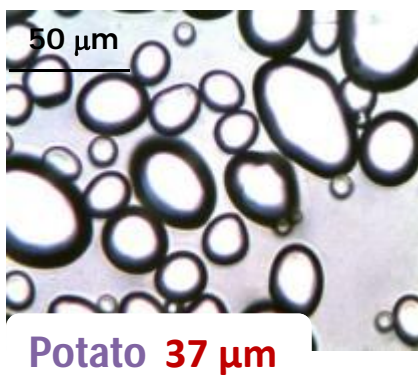
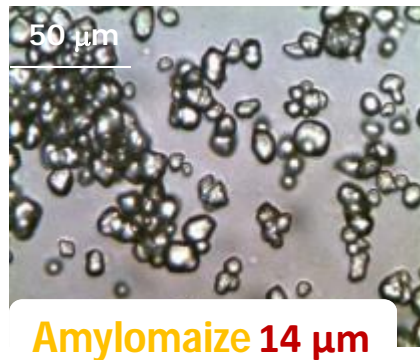
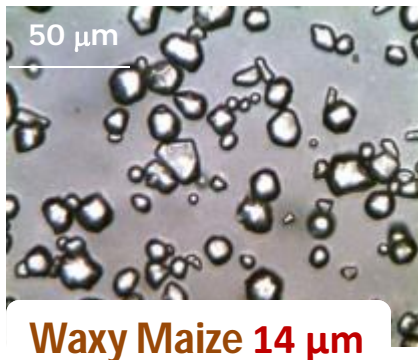
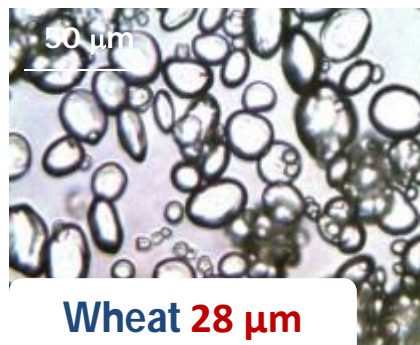
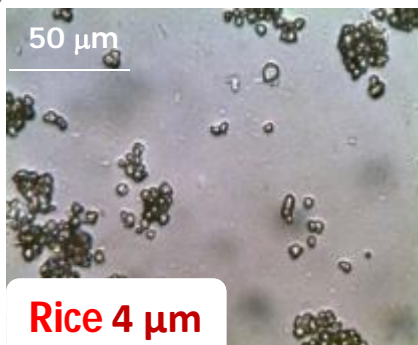
Corn



Potato

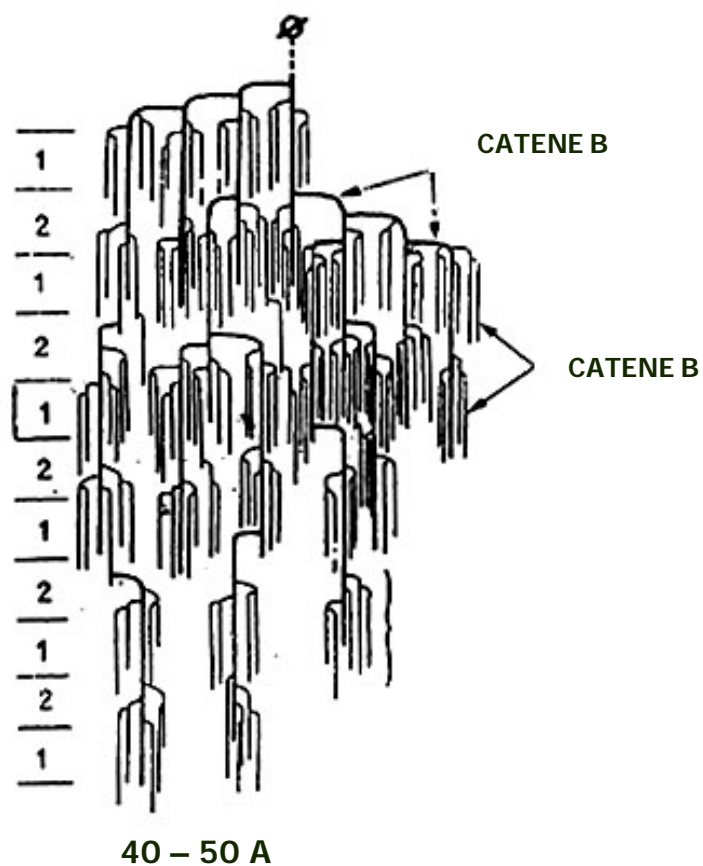
Plant Source	Starch (%)
Wheat	67
Rice	89
Maize	57
Potato	75
Pea	55
Cassava (Tapioca)	90







RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELLA
STRUTTURA A "GRAPPOLO" DELL'AMILOPECTINA
CON ALTERNANZA DI ZONE CRISTALLINE (1) E
ZONE AMORFE (2)



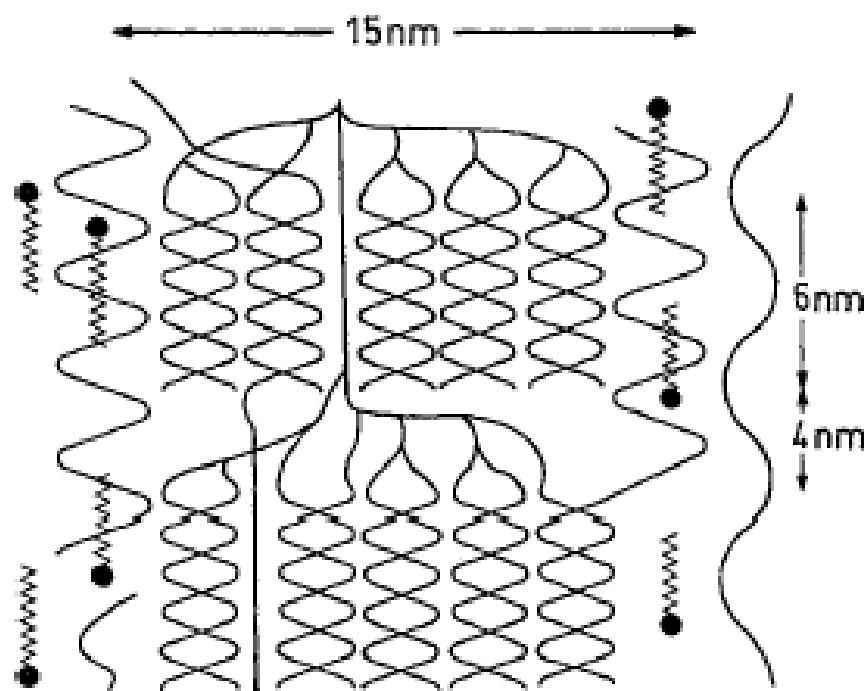







Fig. 4.25. Model of a crystalline region in a starch granule (according to *Galliard, 1987*). Amylopectin double helix ; mixed double helix of amylose and amylopectin ; V-helix of amylose and enclosed lipid ; free lipid ; free amylose 

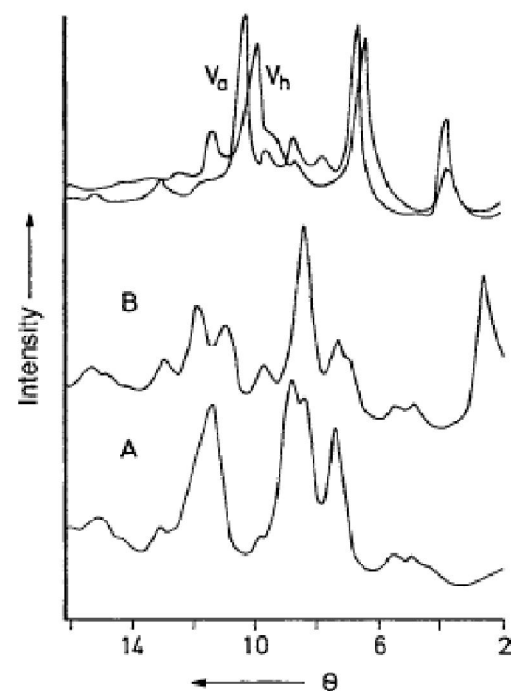
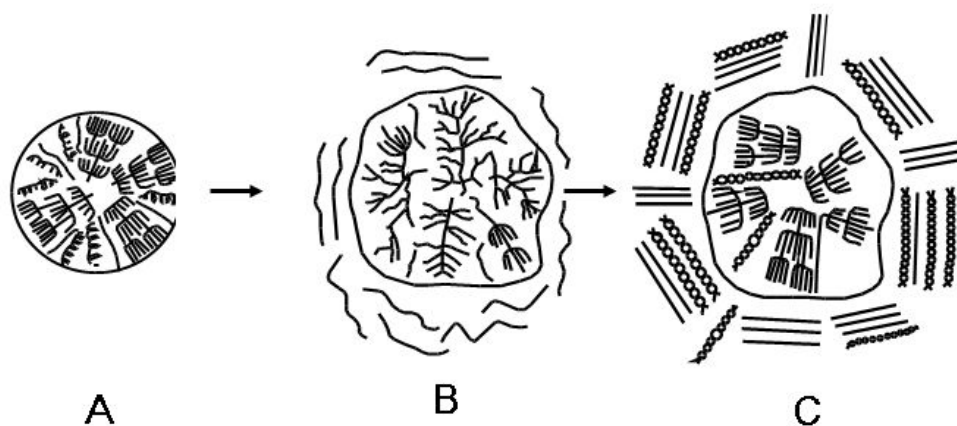
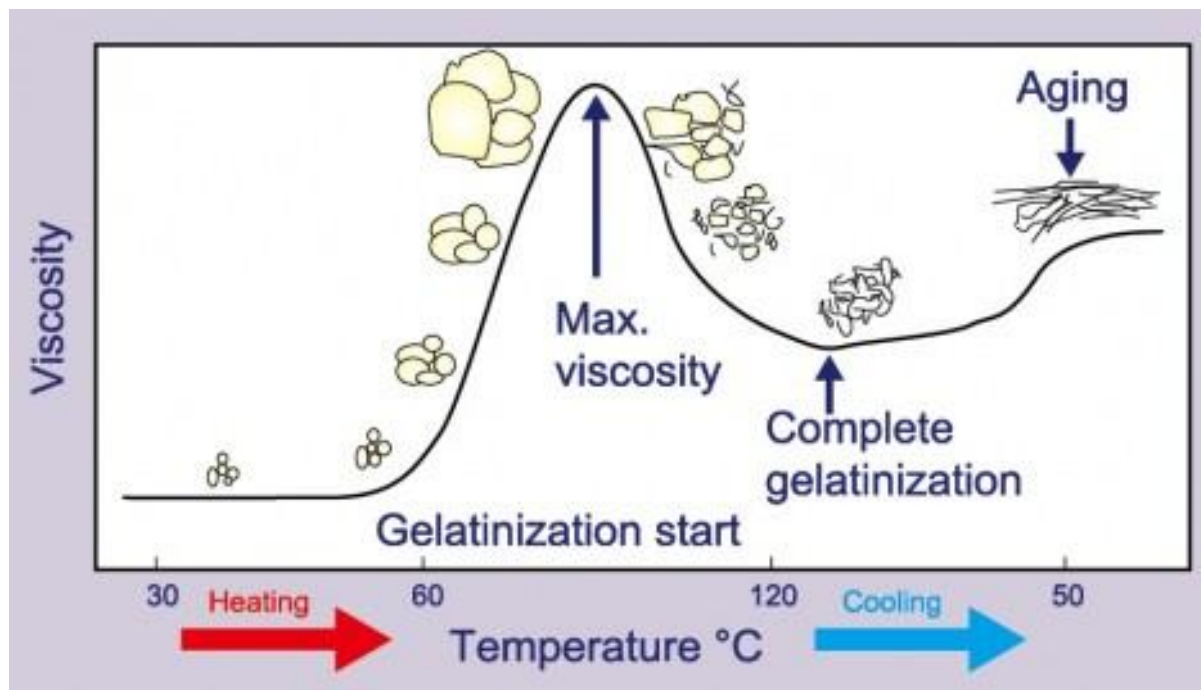
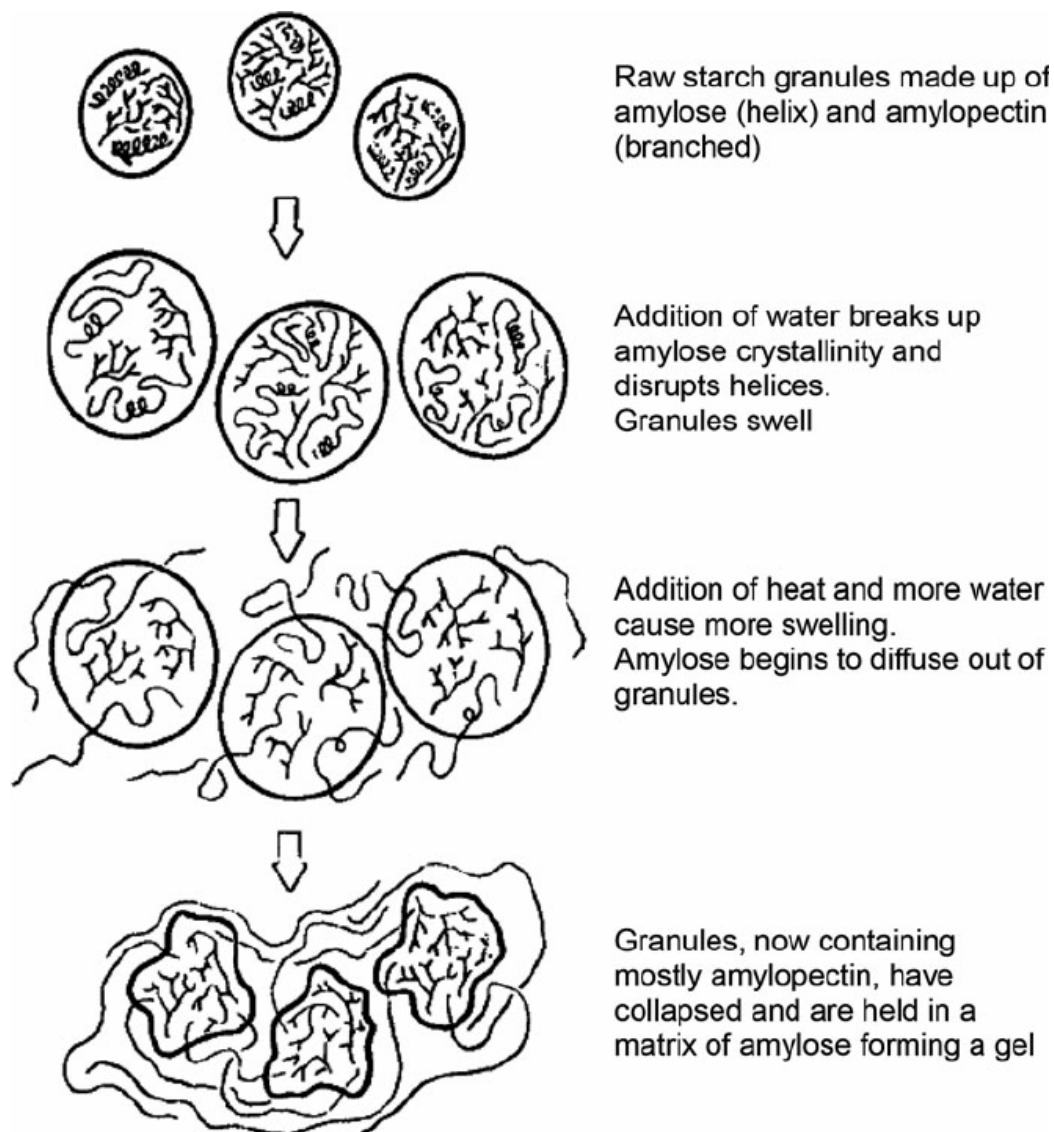
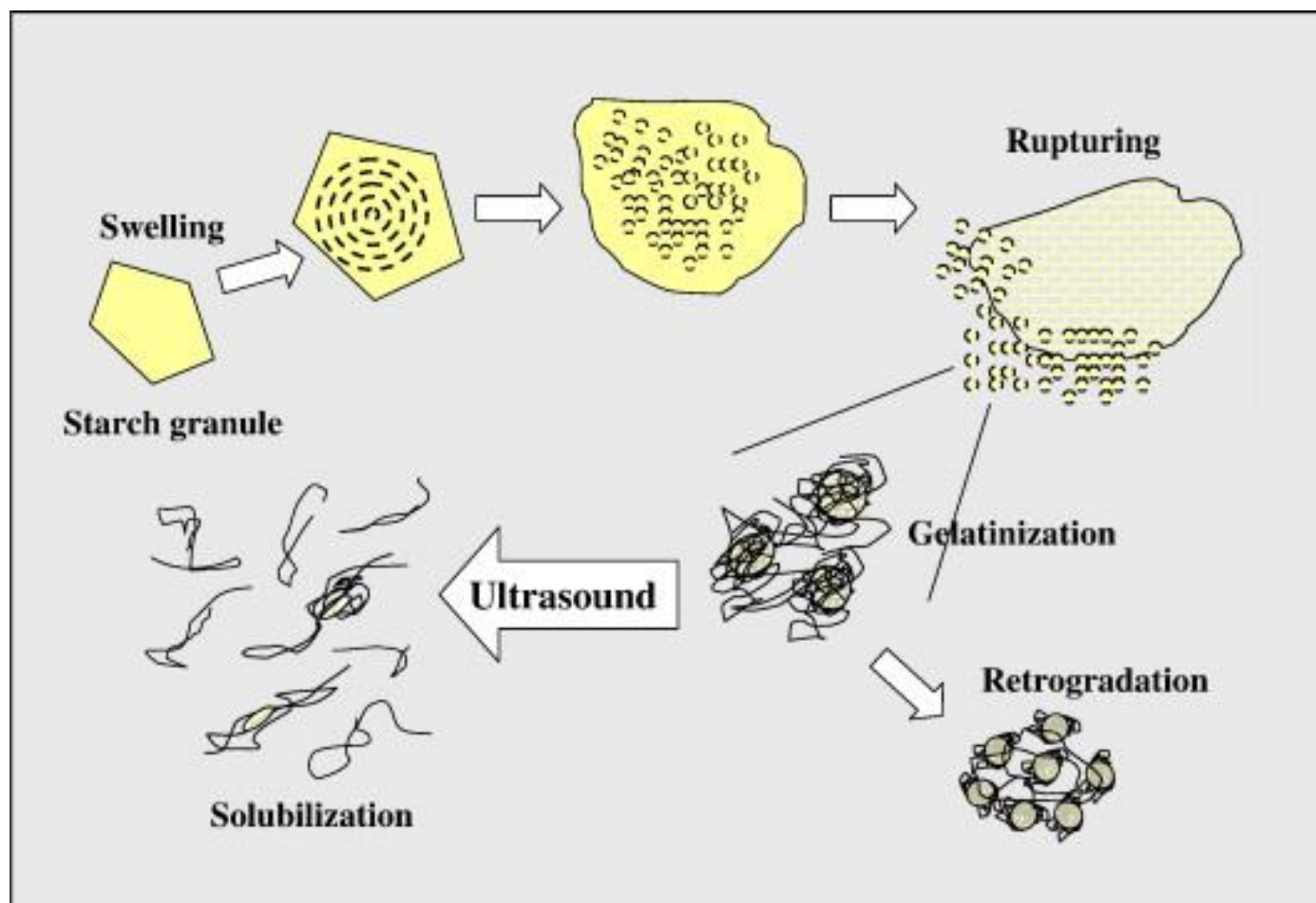


Fig. 4.26. X-ray diffraction diagrams of starches: A-type (cereals), B-type (legumes) and V-type (swollen starch, V_a : water free, V_h : hydrated) (according to *Galliard, 1987*)



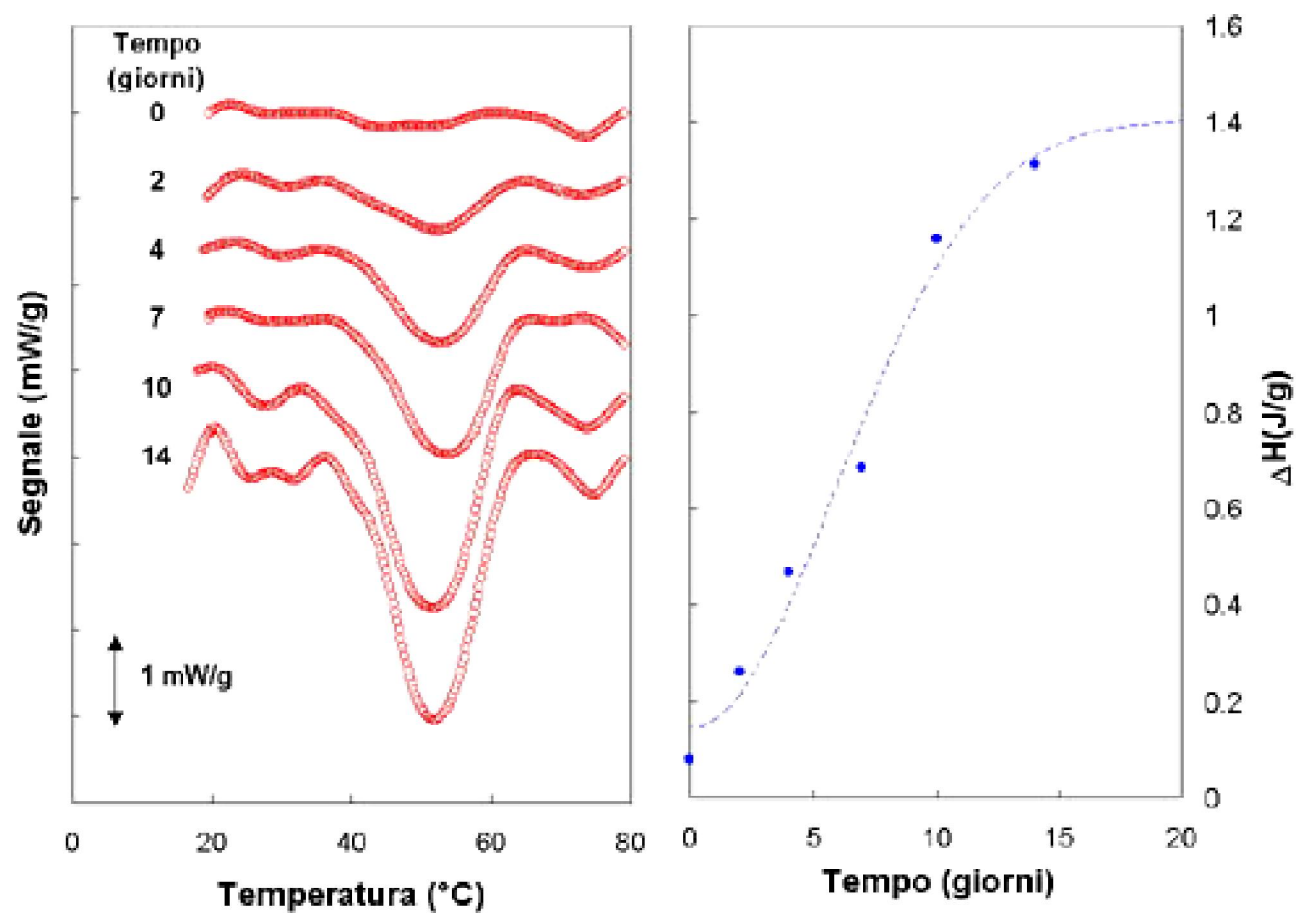








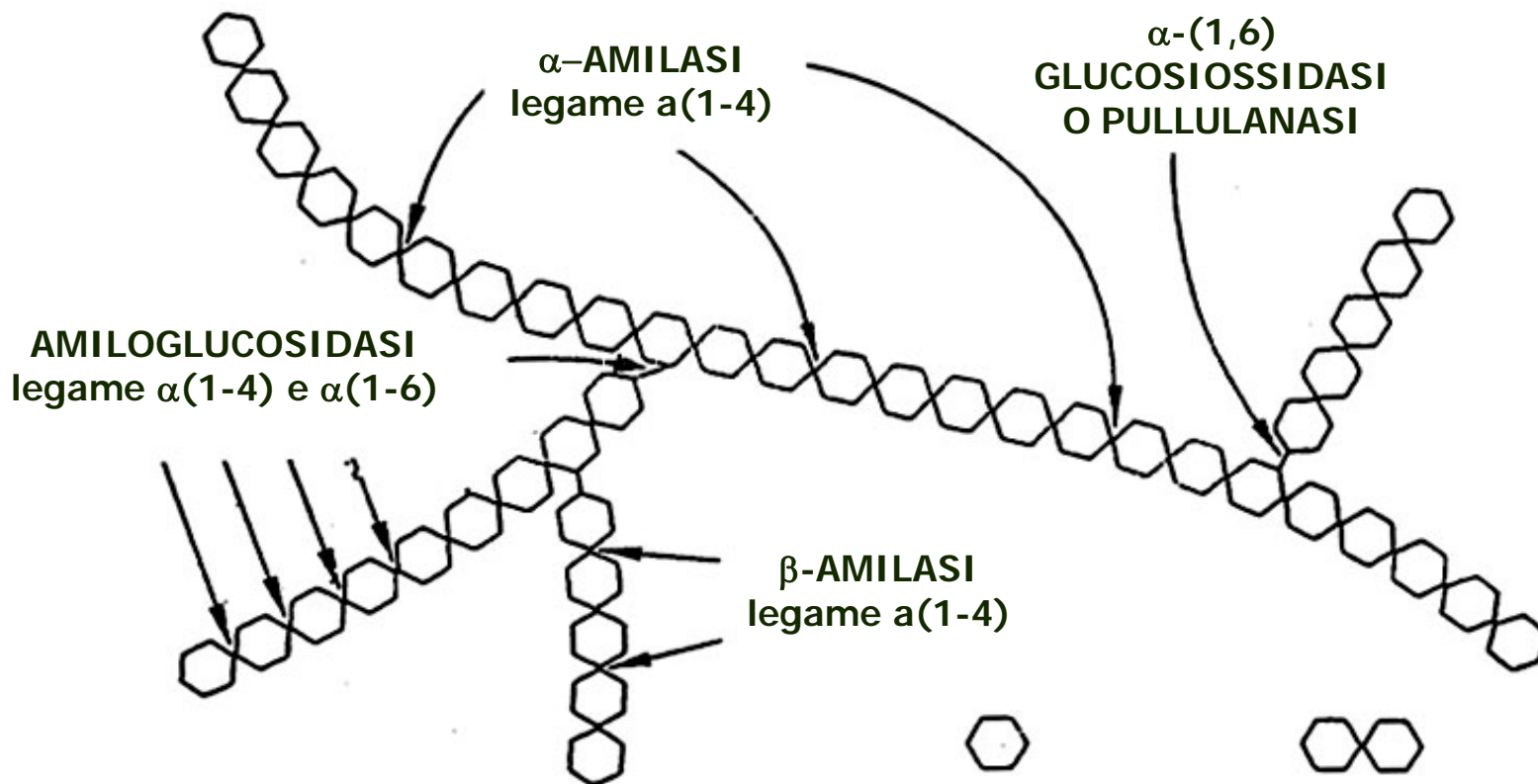
Tracciato DSC di campioni di riso conservati a 10°C per tempi differenti. La transizione endotermica (30-55°C) attribubile alla fusione dei cristalli di amilopectina.





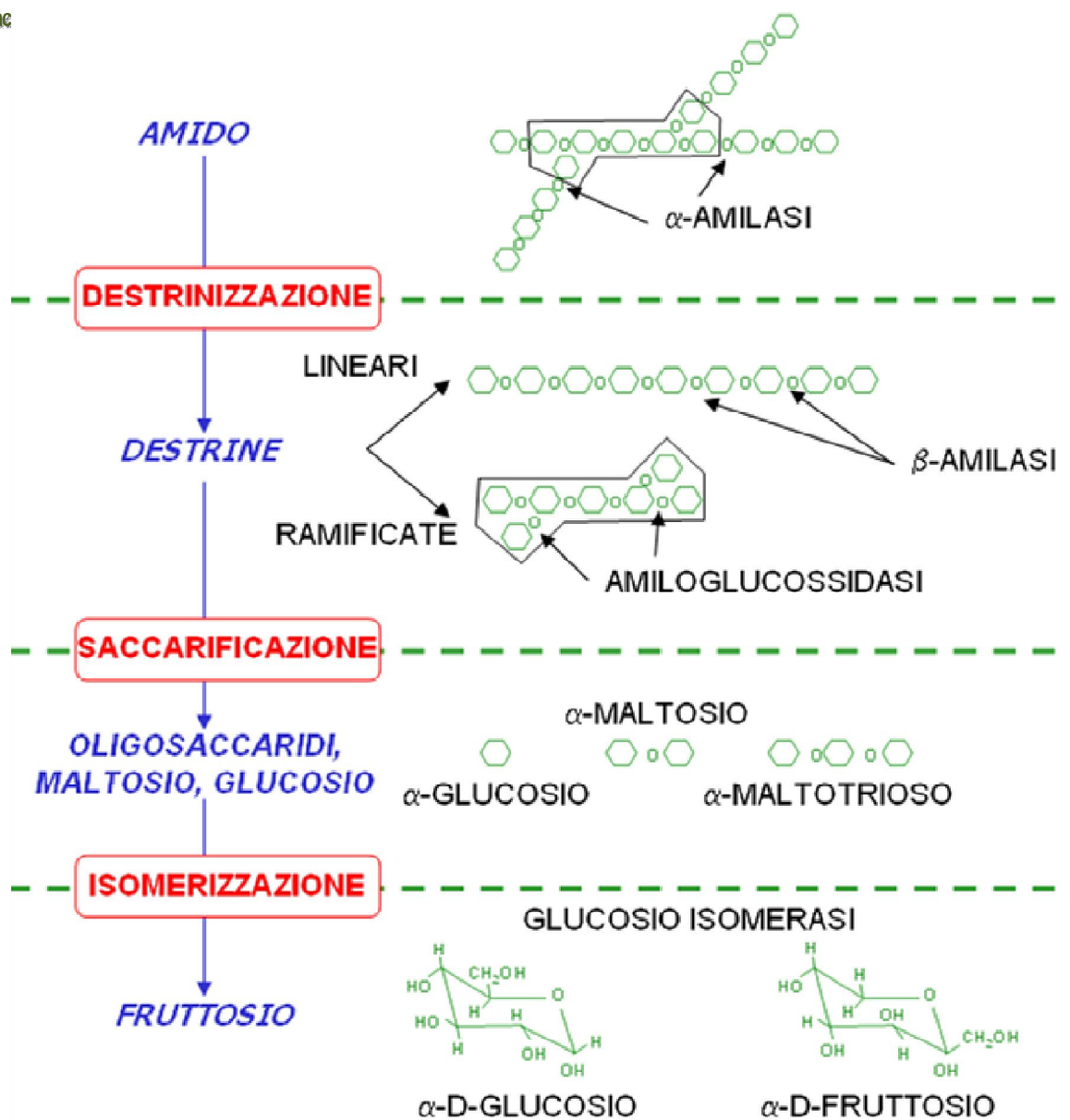
Idrolisi Enzimatica dell'amido

LEGAME GLICOSIDICO = LEGAME COVALENTE AD ALTA ENERGIA MA FACILMENTE IDROLIZZABILE DA ENZIMI SPECIFICI



LE AMILASI SONO PRESENTI NEL GRANO: LE ALFA NEI TEGUMENTI E STRATO ALEURONICO, E LE BETA NELL'ENDOSPERMA







Enzyme	EC number	Source	Action
α -Amylase	3.2.1.1	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Only α -1,4-oligosaccharide links are cleaved to give α -dextrins and predominantly maltose (G2), G3, G6 and G7 oligosaccharides
		<i>B. licheniformis</i>	Only α -1,4-oligosaccharide links are cleaved to give α -dextrins and predominantly maltose, G3, G4 and G5 oligosaccharides
		<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. niger</i>	Only α -1,4 oligosaccharide links are cleaved to give α -dextrins and predominantly maltose and G3 oligosaccharides
Saccharifying α -amylase	3.2.1.1	<i>B. subtilis</i> (<i>amylosacchariticus</i>)	Only α -1,4-oligosaccharide links are cleaved to give α -dextrins with maltose, G3, G4 and up to 50% (w/w) glucose
β -Amylase	3.2.1.2	Malted barley	Only α -1,4-links are cleaved, from non-reducing ends, to give limit dextrins and β -maltose
Glucoamylase	3.2.1.3	<i>A. niger</i>	α -1,4 and α -1,6-links are cleaved, from the nonreducing ends, to give β -glucose
Pullulanase	3.2.1.41	<i>B. acidopullulyticus</i>	Only α -1,6-links are cleaved to give straight-chain maltodextrins





Carboidrati Strutturali

La **cellulosa** polimero di **solo glucosio** (legame β -1,6) non è **idrolizzabile da parte dei sistemi amilolitici**, è **completamente insolubile in acqua** e **assicura rigidità alla parete cellulare**.
Rappresenta una frazione importante della **fibra alimentare**.

Altro interessante componente delle pareti cellulari è la **frazione dei pentosani**, polimeri formati da pentosi.





DENOMINAZIONE: zuccheri pentosi (arabinosio, xylosio)

LOCALIZZAZIONE: componenti delle pareti cellulari (fanno parte delle emicellulose)

SUDDIVISIONE: in base alla solubilità in acqua fredda

1. **PENTOSANI SOLUBILI** 1-1,5% farina
contengono xylosio, arabinosio (glucosio, galattosio, mannosio)
2. **PENTOSANI INSOLUBILI** ca. 2,5%
presentano un numero maggiore di ramificazioni
il 60% dei residui di xylosio porta ramificazione (posizioni C2 o C3); la metà di questi residui porta ramificazione in entrambe le posizioni

RUOLO: assorbono acqua e contribuiscono a conferire CONSISTENZA all'impasto

CARATTERISTICHE

- Assorbimento di grandi quantità di acqua (da 4,4 a 11 volte il peso)
- Aumento viscosità
- Interazione con proteine (aumento volume)
- Formazione gel per addizione di agenti ossidanti
- Ritardo della retrogradazione
- Nessuna gelatinizzazione alle alte temperature





Lipidi

I lipidi dei cereali costituiscono una classe estremamente eterogenea di sostanze, distribuita in maniera assai diversificata nei diversi tessuti del chicco.

Accanto ai **trigliceridi**, i più rappresentati nel **tessuto dell'endosperma**, la **cariosside contiene lipidi polari**, le cui proprietà funzionali (emulsionanti, stabilizzanti) consentono **interazioni con molecole proteiche ed amilacee e sono strategiche per le trasformazioni tecnologiche.**

La presenza rilevante di **acidi grassi insaturi e polinsaturi nei lipidi dei cereali rende purtroppo assai frequenti i fenomeni di deterioramento**, quali l'irrancidimento.





Table 15.28. Lipids in various cereal starches

	Wheat	Corn ^a (maize)	Amylomaize ^a	Waxy maize ^a
	(% or mg/100 g) ^b			
<i>Nonpolar lipids</i>	6%	60%	73%	88%
Sterol esters	2	3	9	7
Triacylglycerols	15	5	16	12
Diacylglycerols	7	3	16	6
Monoacylglycerols	8	12	13	5
Free fatty acids	27	380	650	105
<i>Glycolipids</i>	5%	1%	5%	6%
Sterol glycosides	3	7	13	3
Monogalactosyldiacylglycerols	4		18	1
Monogalactosylmonoacylglycerols	10			
Digalactosyldiacylglycerols	11			2
Digalactosylmonoglycerols	24		17	3
<i>Phospholipids</i>	89%	39%	22%	6%
Lyso-phosphatidyl ethanolamines	104	17	16	1
Lyso-phosphatidyl glycerols	23	6	7	trace
Lyso-phosphatidyl cholines	783	226	183	8
Lyso-phosphatidyl serines	26	8	6	trace
Lyso-phosphatidyl inositols				
Total lipids	1,047	667	964	153

^a Amylose content in starch amounts to 23% (corn), 70% (amylomaize) and 5% (waxy maize cultivars).

^b Results for lipid classes are expressed as % of total lipids present in starch, and for individual lipid compounds as mg/100 g starch dry matter.

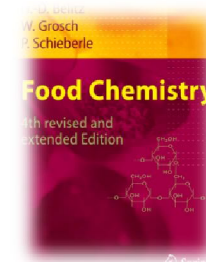




Table 15.31. Average fatty acid composition of acyl lipids of cereals (weight-%)

	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3
Wheat		20	1.5	1.5	14	55	4
Rye		18	<3	1	25	46	4
Corn		17.7		1.2	29.9	50.0	1.2
Oats	0.6	18.9		1.6	36.4	40.5	1.9
Barley	2	22	<1	<2	11	57	5
Millet		14.3	1.0	2.1	31.0	49.0	2.7
Rice	1	<28	6	2	35	39	3

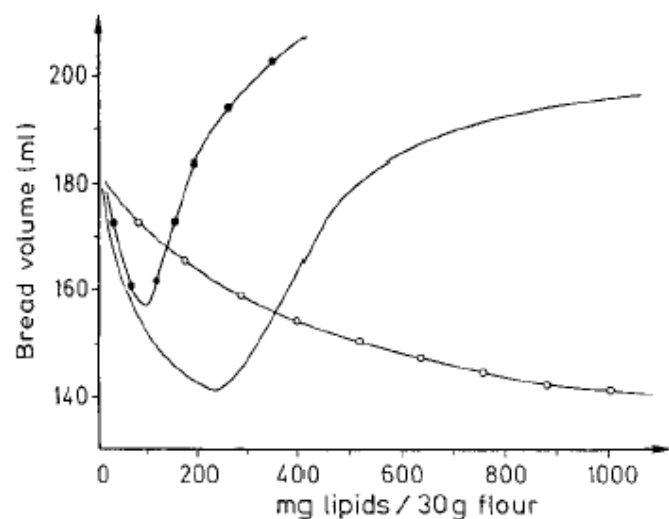
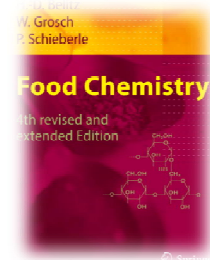


Fig. 15.20. The effect of free nonstarch lipids on the baking quality of defatted wheat flour (according to *Morrison, 1976*). — Lipids (total), —○— nonpolar lipids, —●— polar lipids





Minerali

La maggior parte delle sostanze minerali contenute nella cariosside dei cereali è localizzata nelle **parti tegumentali** ed è costituita da **fosfati** e **solfati** di potassio. Il fosforo è presente inoltre come **fitati**.

Capacità di formazione di complessi con i minerali, riducendone la biodisponibilità.

I cereali contengono in tracce numerosi elementi, tra cui **ferro, rame e zinco**.





Vitamine

I cereali rappresentano una importantissima fonte di vitamine, soprattutto del **gruppo B**. Esse sono localizzate **prevalentemente nei tessuti del germe ed in quelli più periferici dell'endosperma**.

Vitamina	Nome chimico	Localizzazione
B1	Tiamina	Embrione (scutello)
B2	Riboflavina	Più parti del chicco
B6	Piridossina	Strato aleuronico
B3 o PP	Niacina	Strato aleuronico
Acido pantotenico		Strato aleuronico, endosperma
E	Tocoferolo	Embrione

